А.Л. Андреев

Моделирование и расчет автоматизированных видеоинформационных систем наблюдения за объектами



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

А.Л. Андреев

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОБЪЕКТАМИ

Методические указания к лабораторным работам



Санкт-Петербург 2013 Андреев А.Л. Моделирование и расчет автоматизированных видеоинформационных систем наблюдения за объектами. Методические указания к лабораторным работам. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 82 с.

Комплекс лабораторных работ ориентирован на приобретение студентами практических навыков моделирования автоматизированных видеоинформационных систем (ABC), решающих задачи обнаружения, селекции и измерения координат наблюдаемых объектов. Результаты моделирования, полученные в процессе выполнения лабораторных работ, могут использоваться при оптимизации алгоритмов и решающих правил, а также при выполнении расчетов, с целью определения обоснованных требований к отдельным звеньям проектируемых систем.

Учебное пособие предназначено для студентов по направлению подготовки бакалавров и магистров 200400 – «Оптотехника» и по специальности 200401 - "Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения".

Рекомендовано к печати Ученым советом ФОИСТ №2 от 12.02.2013.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 201X ©А.Л. Андреев, 2013

Содержание

ВВЕДЕНИЕ4
1 Методическое руководство к лабораторным работам 7
1.1 Общие положения7
1.2 Селекция изображения точечной цели (Лабораторная работа №1) 8
1.2.1 Описание исследуемого алгоритма и лабораторной установки 8
1.2.2 Порядок выполнения работы 14
1.2.3 Контрольные вопросы 19
1.3 Измерение координат изображений малоразмерных объектов
(Лабораторная работа № 2)21
1.3.1 Описание исследуемого алгоритма и лабораторной установки . 21
1.3.2 Порядок выполнения работы 26
1.3.3 Контрольные вопросы 30
1.4 Обнаружение подвижных объектов (Лабораторная работа № 3) 31
1.4.1 Описание исследуемого алгоритма и лабораторной установки. 31
1.4.2 Порядок выполнения работы 43
1.4.3 Контрольные вопросы 49
2 Методическое руководство к выполнению габаритно-энергетических
расчётов АВС на основе результатов моделирования 50
2.1 Габаритно-энергетический расчёт ABC, решающей задачу измерения
угловых координат точечного источника 50
2.2 Расчёт эффективного диаметра входного зрачка и фокусное
расстояние астродатчика 53
2.3 Расчёт характеристики обнаружения ABC малоразмерного (точечного)
объекта56
3 Варианты заданий для самостоятельных расчётов
Приложение к расчетам
Заключение
Литература

введение

Ha разработки начальных этапах автоматизированных видеоинформационных систем (ABC) самым доступным, дешёвым, но вместе с тем достаточно гибким и эффективным средством представляется компьютерное моделирование. В качестве непосредственного объекта исследования оно предполагает использование некоторой программы, представляющей собой виртуальную модель реальной системы. Эта модель обычно себя включает В модели основных звеньев системы осуществляющих преобразование сигнала.

К числу несомненных достоинств метода компьютерного моделирования следует отнести возможность получения за короткое время и без существенных материальных затрат большого объема данных, характеризующих поведение будущей системы, оценить eë метрологические характеристики (характеристики обнаружения, распознавания объектов) в зависимости от каждого из интересующих параметров в отдельности.

Виртуальные компьютерные модели также весьма эффективны и удобны в учебном процессе при проведении лабораторных и практических фронтальным методом, большая занятий когда группа учащихся одновременно выполняет исследования по одной и той же конкретной теме. Заметим, что использование виртуальных лабораторных установок позволяет в обычном компьютерном классе без заметных материальных затрат создать условия практически адекватные условиям работы на реальном оборудовании причём с широкими возможностями осуществления режима статистических испытаний по методу Монте-Карло. В этом случае основная задача учащихся заключается в систематизации и анализе полученных результатов, в выявлении и объяснении определённых закономерностей.

Компьютерная модель обычно представляет собой комплексную программу, включающую головную управляющую программу и ряд взаимосвязанных подпрограмм, позволяющих имитировать в ЭВМ процедуры, адекватные физическим процессам, происходящим в отдельных звеньях реальной системы. В случае моделирования работы ABC к таким процессам относятся:

- входные оптические воздействия от наблюдаемых объектов и фоновых помех;
- формирование изображения оптической системой;
- процессы, связанные с формированием зарядового рельефа в фотоприемном устройстве с учетом внутренних в общем случае нестационарных шумов;
- искажения, возникающие в результате преобразования и квантования сигналов в блоке АЦП при ограниченной разрядности

 возможные алгоритмы цифровой обработки, включая предварительную фильтрацию исходных массивов цифрового изображения, процедуры обнаружения, распознавания и оценки параметров объектов наблюдения.



Совокупность излучателей, находящихся в пространстве объектов, а также среда распространения оптических сигналов, создаваемых этими излучателями, образуют так называемую фоновоцелевую обстановку (ФЦО). Оптическую систему (ОС) и фотоприемное устройство (ФПУ) в первом приближении можно рассматривать как линейные звенья с функциями преобразования $W_{\rm OC}$ и $W_{\Phi\Pi y}$, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и цифровое вычислительное устройство (ЦВУ), реализующее исследуемый алгоритм обработки сигнала, – нелинейные звенья с функциями преобразования $W_{\rm ALIII}$ и $W_{\rm LBY}$.

Рассмотрим типичную аппаратную структуру реальной автоматизированной видеоинформационной системы, положенной в основу разрабатываемой модели (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Структурная схема автоматизированной видеоинформационной системы наблюдения за объектами

С помощью оптической системы (ОС) изображение объекта строится на фоточувствительной поверхности телевизионного преобразователя на ПЗС (КМОП и др.). Видеоусилитель (ВУ) служит для усиления видеосигнала до заданного уровня, определяемого рабочим диапазоном аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Основное назначение ВУ – масштабирование, т.е. обеспечение размаха видеосигнала (от минимального уровня «черного» до максимального уровня «белого») приблизительно равного динамическому диапазону допустимых входных

сигналов АЦП. При этом управление ВУ обеспечивается блоком регулировки усиления (РУ). В свою очередь РУ управляется от пикового детектора (ПД), на который поступает сигнал с выхода фиксатора уровня (ФУ). ПД измеряет максимальное (пиковое) напряжение сигнала на входе АЦП и устанавливает такое значение коэффициента усиления, при котором максимальный уровень напряжения видеосигнала в кадре почти совпадает с верхним допустимым уровнем напряжения на входе АЦП. ФУ необходим для «привязки» уровня видеосигнала, соответствующего фоновому заряду, к нижнему уровню рабочего диапазона АЦП. Максимальное пиковое значение сигнала на выходе ФУ должно соответствовать верхнему уровню рабочего диапазона АЦП.

С выхода АЦП сигнал в виде параллельного двоичного кода поступает на вход буферного запоминающего устройства (БЗУ), которое служит для обеспечения условий независимой работы датчика и ЦВУ, функционирующих в асинхронном режиме.

Блоки управления БУ-1 и БУ-2 управляют работой АЦП и БЗУ соответственно. Синхрогенератор (СГ) обеспечивает синхронную работу всех звеньев.

Заметим, что с точки зрения реализации виртуальной компьютерной модели АСН такие функциональные узлы как БЗУ, БУ-1, БУ-2 и СГ не представляют практического интереса. Проектирование этих узлов не статистического требует предварительного моделирования. Они выполняют вспомогательные функции, и их работа непосредственно не преобразования связана с процессом сигналов И появлением дополнительных помех.

В рамках лабораторного практикума студенты должны приобрести навыки постановки эксперимента, обработки и анализа полученных результатов, с целью оптимизации параметров решающих правил и обоснования требований к отдельным звеньям проектируемой системы. Результаты исследований в дальнейшем предполагается использовать при выполнении расчетных домашних заданий, курсовых работ и ВКР.

1 Методическое руководство к лабораторным работам

1.1 Общие положения

Тематика лабораторных работ связана с исследованием ABC, решающих задачи наблюдения за объектами, угловые размеры которых значительно меньше угловых размеров поля зрения. Предметом изучения являются алгоритмы, используемые при обнаружении объектов в сложных условиях наблюдения при значительном уровне помех, а также алгоритмы измерения координат обнаруженных объектов.

Каждая лабораторная работа выполняется на виртуальной установке и включает три основных этапа:

– изучение структуры, органов управления, средств отображения и возможностей установки;

– выполнение типовой программы исследований в соответствии с методикой, предусмотренной в рамках данной темы;

– проведение дополнительных исследований по усмотрению самого студента для получения зависимостей, позволяющих ответить на вопросы, приведенные в конце каждой работы.

Независимо от состава бригад отчет по лабораторным работам оформляется и защищается каждым студентом индивидуально.

Отчёт по лабораторной работе обычно включает следующие разделы. 1. Теоретическая часть, содержащая полезные (с точки зрения студента) сведения помогающие отвечать на вопросы, касающиеся особенностей изучаемой темы и специфики конкретной работы.

- 2. Основной раздел, включающий полученные зависимости, оформленные в виде соответствующих таблиц и графиков, а также основные выводы, вытекающие из полученных результатов.
- 3. В отчёте рекомендуется также привести результаты исследований, выполненных студентом по собственной инициативе, с объяснением поставленной цели и трактовкой полученных результатов.

Объём и содержание первого и третьего разделов отчёта определяется самим студентом. Однако следует иметь в виду, что при защите данной темы студенту разрешается пользоваться только своим отчётом, а не данными методическим руководством или какой-либо другой литературой.

При оформлении графических зависимостей иллюстрирующих результаты, полученные в процессе статистических испытаний, следует придерживаться следующих правил.

- 1. Графические зависимости, соответствующие данным, приведенным в одной таблице целесообразно приводить на одном рисунке,
- 2. Аппроксимирующие кривые, как правило, должны иметь монотонный характер и могут не проходить через точки, соответствующие результатам статистического эксперимента.

1.2 Селекция изображения точечной цели (Лабораторная работа №1)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – изучение алгоритмов использующих процедуры линейной и нелинейной фильтрации, используемых на этапе предварительной обработки изображений при селекции точечных объектов в оптико-электронных системах обнаружения, слежения и наведения.

1.2.1 Описание исследуемого алгоритма и лабораторной установки

Одной из распространённых задач, решаемых на предварительном этапе в АСН, является процедура выделения слабых оптических сигналов от малоразмерных (в предельном случае точечных) целей, наблюдаемых в присутствии существенно более контрастных мешающих деталей фона, которые в автоматизированных системах видеонаблюдения можно рассматривать как оптические помехи. Физическая природа таких помех может быть различной: всевозможные блики, присутствие в поле зрения системы ярких излучающих или отражающих излучение объектов и др.

В качестве рабочих признаков выделяемых целей в общем случае могут быть использованы спектральные, динамические и пространственные параметры, отличающие выделяемые объекты от маскирующих элементов Очевидно, что спектральные методы селекции связаны фона. С использованием всевозможных оптических фильтров, в то время как пространственные (пространственно-частотные) динамические И отличительные признаки могут быть задействованы в электронном тракте системы на основе алгоритмов цифровой обработки изображений. Ниже рассматриваются вопросы, связанные с использованием решающих правил, позволяющих в автоматизированных системах видеонаблюдения решать обнаружения И селекции сигналов малоконтрастных задачи И малоразмерных целей в достаточно сложной сигнально-фоновой ситуации.

На рисунке 1.3 показан пример изображения, содержащего малоразмерные объекты О₁...О₁₀, а также более крупные и, в общем случае значительно более контрастные мешающие детали фона.

Соответствующая этому примеру осциллограмма видеосигнала выделенной строки показана на рисунке 1.4а.

В приведённом примере сигналы от малоразмерных целей могут обладать как положительным (например, O_3) так и отрицательным (например, O_8) контрастом по отношению к элементам окружающего фона. Очевидно, что для успешного решения задач обнаружения и селекции необходимо, чтобы величина сигнала от наблюдаемых объектов (U_c) превышала уровень шумовой составляющей ($\sigma_{\rm m}$), оцениваемой в окрестностях соответствующих прилегающих локальных областей.

8



Рисунок 1.3 – Пример изображения, содержащего малоразмерные объекты О₁....О₁₀ и мешающие детали фона



Рисунок 1.4 – Осциллограмма выделенной строки *ab* изображения, показанного на рисунке 3 (а); фоновая составляющая, полученная после фильтрации видеосигнала выделенной строки (б); разностный сигнал, полученный после вычитания фоновой составляющей (в)

Остановимся на вопросах, непосредственно связанных с практической реализацией рабочего алгоритма в АВС.

После квантования видеоимпульсов в узле АЦП элементы изображения можно представить в виде матрицы целых чисел $[E_{i,j}]$, где *i* и *j* соответственно номера столбцов и строк. Выделение слабых оптических сигналов от малоразмерных объектов (целей), наблюдаемых в присутствии мешающих деталей фона, в автоматизированной системе видеонаблюдения можно осуществлять путём реализации решающего правила, включающего следующие процедуры.

1. Для каждого элемента $E_{i,j}$ исходного массива формируется соответствующее новое значение $E_{i,j}^*$:

$$E_{i,j}^{*} = F \begin{bmatrix} E_{(i-l),(j-k)} & \dots & E_{i,(j-k)} & \dots & E_{(i+l),(j-k)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{(i-l),j} & \dots & E_{i,j} & \dots & E_{(i+l),j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{(i-l),(j+k)} & \dots & E_{i,(j+k)} & \dots & E_{(i+l),(j+k)} \end{bmatrix}$$
(1.1)

где: F[*] – оператор сглаживающего фильтра; l = (m-1)/2; k = (n-1)/2; $m \times n$ – апертура фильтра.

Полученный таким образом массив [$E_{i,j}^*$] в дальнейшем используется для компенсации фоновой составляющей. Заметим, что в качестве сглаживающего фильтра принципиально могут применяться различные линейные или нелинейные анизотропные операторы. Однако, как показал анализ, при наличии резких перепадов уровня фоновой составляющей в поле зрения системы наилучший эффект даёт процедура нелинейной фильтрации на основе двумерного медианного фильтра. Специфическим свойством медианного фильтра (в отличие от анизотропного линейного фильтра) является способность эффективно подавлять немонотонные (в составляющие пределах апертуры) последовательности чисел И неискаженно передавать монотонные составляющие. Использование линейных процедур фильтрации, не позволяет осуществлять надёжную селекцию малоразмерных целей при больших отношениях $\Delta \Phi/U_{c}$ [1, 2, 5].

2. Для каждого элемента изображения вычисляется разностный сигнал путём сравнения значений отсчётов сглаженного и исходного массивов

$$ZE_{i,j} = E_{i,j} - E_{i,j}^*$$
(1.2)

Описанные выше процедуры проиллюстрированы также рисунком 1.4.

3. **В** условии априорной неопределённости факта наличия интересующих объектов в зоне наблюдения следующий этап – обнаружение объектов и устранение «пустых» элементов массива [$ZE_{i,j}$], не содержащих сигнальной составляющей

$$ZE_{i,j}^{*} = \begin{cases} ZE_{i,j}, |ZE_{i,j}| \ge \Pi_{0} \\ 0, |ZE_{i,j}| < \Pi_{0} \end{cases}$$
(1.3)

Величина решающего порога Π_0 определяется по заданному критерию оптимальности с учётом допустимых значений вероятностей ошибок первого или второго рода. *Если же точно известно*, что в зоне наблюдения присутствует один или несколько объектов (и при этом известно их число), то после процедуры 2 осуществляется непосредственный переход к процедуре 4.

4. В полученном на предыдущем этапе массиве $ZE_{i,i}$ (или $ZE_{i,i}^{*}$) осуществляется поиск локальных максимумов. При обнаружении каждого локального максимума в отведённой области памяти фиксируется небольшой сегмент, взятый из исходного массива в окрестностях элемента, соответствующего локальному максимуму. Указанная процедура соответствующих выполняется для всех локальных максимумов, обнаруженным объектам (или локальных максимумов, лля всех соответствующих известному числу объектов, находящихся в зоне наблюдения).

Таким образом, решающее правило представляет собой последовательность достаточно простых линейных и нелинейных процедур.

Однако практическая реализация описанного выше алгоритма связана с необходимостью уточнения отдельных параметров решающего правила (тип и апертура сглаживающего фильтра), обоснования требований к отдельным звеньям аппаратной структуры автоматизированной системы (габаритно-энергетические видеонаблюдения параметры оптической динамический диапазон фотоприёмного системы. устройства, предопределяющие реализуемое отношение сигнал/шум; достаточная разрядность АЦП др.). Очевидно, что оптимизация параметров решающего правила и требований к отдельным звеньям аппаратной структуры должна проводиться с учётом множества взаимосвязанных факторов, включая функционирования системы (параметры и характеристики условия сигнально-фоновой ситуации). Эффективным методом решения подобной задачи является компьютерное моделирование.

Рассмотренная выше последовательность процедур преобразования сигнала было положено в основу компьютерной модели, выполненной в виде виртуальной лабораторной установки. С помощью подобной модели методом статистических испытаний (известным также под названием «метод Монте-Карло») еще на ранних стадиях проектирования можно получать необходимые зависимости, позволяющие прогнозировать поведение системы в различных условиях наблюдения и при различных значениях параметров отдельных.

На рисунке 1.5 показана блок-схема, поясняющая логическую структуру модели, лицевая панель которой представлена на рисунке 1.6.



Рисунок 1.5 – Блок-схема, поясняющая логическую структуру модели



Рисунок 1.6 – Общий вид лицевой панели лабораторной установки «Селекция изображения точечной цели»

Элементы, помеченные на рисунке 1.6, имеют следующее назначение.

1 – монитор, отображающий взаимное расположение в «поле зрения» АНС, изображение фоновой помехи и объекта наблюдения в виде пятна рассеяния от точечной цели (используется при настройке).

2 – монитор, отображающий изображение объекта в присутствии фоновой помехи при наличии шумов, а также сегмент изображения, выделяемый в результате выполнения алгоритма селекции точечной цели.

3 – монитор, служащий для увеличенного отображения выделенного сегмента исходного изображения.

4 – осциллограф для отображения видеосигнала выделенной строки элементов, взятых из исходного массива (до процедуры сглаживания) и видеосигнала сглаженного массива той же строки (т.е. после процедуры сглаживания в соответствии с вышеописанным алгоритмом селекции).

5 – осциллограф для отображения видеосигнала выделенной строки элементов после процедуры вычитания из исходного массива сглаженного массива.

6 – переключатель, используемый для выбора характера фоновой помехи, которая может представлять собой либо плавное изменение яркости, либо резкие границы, представляющие собой перепады яркости фона (в горизонтальном направлении).

7 – переключатель выбора типа сглаживающего фильтра в составе, используемого в составе решающего правила исследуемого алгоритма селекции.

8 – регулятор коэффициента усиления входного сигнала осциллографа 4.

9 – движки регуляторов, задающие координаты изображения при настройке.

10 – движок регулятора выбора строки, отображаемой на экранах осциллографов.

В модели в качестве варьируемых исходных параметров, предопределяющих условия эксперимента, используются следующие.

1. Координаты объекта (цели) относительно положения области существенного изменения фоновой составляющей в анализируемом изображении. Координаты (*X*, *Y*) выражаются числом пространственных периодов фоточувствительных элементов, отделяющих центр изображения объекта от точки начала координат, расположенной в левом нижнем углу рабочей поверхности ФПУ (0 – 255).

2. Параметр, характеризующий градиент пространственного изменения фоновой составляющей (имитирующий плавный или резкий перепад яркости фона в области наблюдения);

3. Отношение максимального перепада уровня фоновой составляющей в анализируемом изображении ($\Delta \Phi$) к величине сигнальной составляющей от объекта наблюдения ($U_{\rm c}$). Диапазон возможных значений $\Delta \Phi/U_{\rm c}$: 0 – 1000.

4. Отношение сигнал шум, оцениваемое как отношение пикового значения величины сигнала от объекта (U_c), наблюдаемого на соответствующем локальном участке фона к среднеквадратическому значению флуктуации шумовой составляющей ($\sigma_{\rm m}$). Диапазон возможных значений $\mu = U_c/\sigma_{\rm m}$: 0 – 1000.

5. Тип сглаживающего фильтра, используемого в составе решающего правила: линейный анизотропный (ск. среднее) или медианный;

6. Размерность апертуры фильтра $W = m \times m (m - \text{нечетные числа}):$ 3–15);

7. Число разрядов АЦП (*N*): 1 – 16.

1.2.2 Порядок выполнения работы

Перед началом практической части работы необходимо внимательно ознакомиться с описанием исследуемого алгоритма и структурой лабораторной установки, (см. выше). Рекомендуем также изучить перечень вопросов, приведенных в его конце, что позволит более целенаправленно выполнять вторую часть практической работы. При выполнении первого этапа работы рекомендуется делать соответствующие пометки в черновике, которые в дальнейшем будут полезны при подготовке к защите.

Первый этап работы – изучение структуры и возможностей установки целесообразно выполнять в следующем порядке.

1. Включите непрерывный цикл выполнения программы, нажав на кнопку циклического запуска, расположенную в верхней части экрана за пределами лицевой панели лабораторной установки (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – Кнопки управления программой, расположенные в верхней части экрана

Примечание

В нажатом состоянии данная кнопка должна быть окрашена в темный цвет. В дальнейшем до полного завершения работы рекомендуется пользоваться только кнопками «ПУСК» и «СТОП», расположенными в нижней части непосредственно на лицевой панели лабораторной установки.

2. Установите величину отношения сигнал/шум $U_c/\sigma_m = 10$.

3. Установите величину отношения $\Delta \Phi/U_c = 5$.

4. Переключатель 6 установите в положение «Резкий».

5. Установите число разрядов АЦП не менее 8.

6. С помощью движков 9 (рисунок 1.6) установите изображение точечной цели приблизительно в середину светлой части фоновой составляющей изображения. Изображение цели имеет вид тёмной точки на мониторе 1.

7. Нажмите кнопку «ПУСК» в нижней части лицевой панели.

8. Понаблюдайте за осциллограммами, отображающими верхнюю строку.

На осциллографе 4 зелёный луч отображает выбранную строку элементов исходного массива $[E_{i,j}]$, соответствующего изображению зоны наблюдения. Красным цветом отображается та же строка после процедуры сглаживания исходного массива одним из выбранных фильтров.

На осциллографе 5 отображается соответствующая строка элементов, взятых из разностного массива [*ZE*_{i,j}]. Последний получен в результате вычитания из исходного массива сглаженного массива (см. ф.ф. 1.1 и 1.2).

9. Попробуйте несколько раз изменить тип сглаживающего фильтра с помощью переключателя 7, наблюдая при этом, как это отражается на осциллограммах.

Рекомендуется также воспользоваться переключателем «цель/фон», расположенным в нижнем левом углу монитора 2. В положении «фон» отображается двумерный массив изображения зоны наблюдения после процедуры сглаживания выбранным фильтром. В положении «цель» отображается исходный массив, содержащий сигнал от цели, фоновую составляющую и шумы. Белый прямоугольник показывает границы выделенного сегмента. При этом в случае правильного обнаружения объекта выбранный сегмент соответствует участку зоны наблюдения, в котором расположена наблюдаемая цель.

10. Последовательно уменьшая разрядность АЦП (вплоть до n = 1), наблюдайте за работой исследуемой модели ABC: обратите внимание на изменения осциллограмм, на возможное появление ошибок при обнаружении цели и др.).

11. Верните прежнюю разрядность АЦП (*n* не менее 8). Увеличивая последовательно апертуру сглаживающего фильтра, наблюдайте как изменяются осциллограммы выделенной строки: а) в случае использования линейного фильтра (ск. среднее); б) в случае использования медианного фильтра.

12. Нажмите кнопку «СТОП» в нижней части лицевой панели установки.

13. С помощью движка 9. расположенного под экраном монитора 1 (рисунок 1.6) переместите изображение точечной цели в область зоны наблюдения с низким уровнем фона (например, вправо приблизительно на цифру 200 или влево на цифру 20).

14. Нажмите кнопку «ПУСК» и выполните повторно действия, рекомендованные п.п. 8 – 12.

В завершение первого этапа можно по собственной инициативе выполнить некоторые действия, с целью дополнительного ознакомления с работой установки.

Второй этап работы заключается в использовании лабораторной установки, с целью получения ряда зависимостей характеризующих поведение проектируемой ABC в различных условиях наблюдения за объектами, при различных значениях параметров решающего правила, а также при различных требованиях к отдельным звеньям.

А) Зависимость вероятности правильного выделения сегмента от отношения $\Delta \Phi / U_c$.

1. С помощью движка 9. расположенного под экраном монитора 1 (рисунок 1.6) переместите изображение точечной цели в область зоны

наблюдения с низким уровнем фона (например, вправо приблизительно на цифру 200 или влево на цифру 20).

2. Переключатель 6 установите в положение «Резкий».

3. С помощью переключателя 7 выберете линейный тип фильтра (ск. среднее).

4. Установите величину отношения сигнал/шум $U_{\rm c}/\sigma_{\rm m} = 10$.

5. Установите значение апертуры сглаживающего фильтра W = 5.

6. Установите число разрядов АЦП n = 8.

7. Последовательно изменяя величину отношения $\Delta \Phi/U_c$ в диапазоне от 0 до 2, проведите серию статистических испытаний (используя для запуска и остановки каждого эксперимента кнопки «ПУСК» и «СТОП). При этом число реализаций, при которых данные заносятся в таблицу 1.1 (см. ниже) должно быть не менее 100.

8. Установите число разрядов АЦП *n* = 10 и повторите действия в соответствии с п.п. 7.

Таблица 1.1 – Зависимость вероятности правильной селекции объекта от отношения $\Delta \Phi / U_c$ при использовании линейного фильтра.

۸ <i>₼ / II</i>	Процент правильных обнаружений $P_{\text{прав.}}(\%)$					
$\Delta \Psi / U_{c}$	<i>n</i> = 8	<i>n</i> = 10				
0						
0,5						
1,0						
1,25						
1,5						
1,75						
2,0						

9. С помощью переключателя 7 выберете медианный тип сглаживающего фильтра в составе решающего правила.

10. Установите число разрядов АЦП n = 8.

11. Последовательно изменяя величину отношения $\Delta \Phi/U_c$ в диапазоне от 0 до 300, проведите серию статистических испытаний аналогичных описанных в пункте 7. При этом число реализаций, при которых данные заносятся в таблицу 1.2 (см. ниже) должно быть не менее 100.

12. Установите число разрядов АЦП *n* = 10 и повторите действия в соответствии с п.п.11.

	Процент правильных обнаружений $P_{\text{прав.}}(\%)$				
$\Delta \Psi / U_{c}$	<i>n</i> = 8	<i>n</i> = 10			
0					
25					
50					
100					
125					
150					
175					
200					

Таблица 1.2 – Зависимость вероятности правильной селекции объекта от отношения $\Delta \Phi / U_c$ при использовании медианного фильтра.

Примечание.

При больших значениях отношений $\Delta \Phi / U_c$ для большей наглядности отображения осциллограмм рекомендуется воспользоваться регулятором коэффициента усиления входного сигнала осциллографа 4.

Б) Зависимость условной вероятности правильного выделения сегмента, содержащего изображение цели, от отношения сигнал/шум

1. С помощью горизонтального движка 9 (рисунок 1.6) переместите изображение точечной цели в область зоны наблюдения с низким уровнем фона (приблизительно на цифру 200 или на цифру 20).

2. Переключатель 6 установите в положение «Резкий».

3. С помощью переключателя 7 выберете медианный тип сглаживающего фильтра в составе решающего правила.

4. Установите значение апертуры сглаживающего фильтра W = 5.

5. Установите число разрядов АЦП n = 8.

6. Установите величину отношения $\Delta \Phi / U_c = 5$.

7. Последовательно изменяя величину отношения сигнал/шум $U_c/\sigma_{\rm m}$ в диапазоне от 3 до 8, проведите серию статистических испытаний (используя для запуска и остановки каждого эксперимента кнопки «ПУСК» и «СТОП). При этом число реализаций, при которых данные заносятся в таблицу 1.3 (см. ниже) должно быть не менее 100.

8. Установите число разрядов АЦП *n* = 10 и повторите действия в соответствии с п.п. 7.

9. Установите величину отношения $\Delta \Phi / U_c = 100$.

10. Установите число разрядов АЦП n = 8.

Таблица 1.3 – Зависимость вероятности правильного выделения сегмента от величины отношения сигнал/шум

$U_{ m c}/\sigma_{ m m}$	Процент правильных обнаружений $P_{\text{прав.}}(\%)$				
	<i>n</i> = 8	<i>n</i> = 10			
3,0					
3,5					
4,0					
4,5					
5,0					
6					
8					

11. Последовательно изменяя величину отношения U_c/σ_m в диапазоне от 3 до 15 (с шагом изменения параметра $\Delta U_c/\sigma_m = 3$), проведите серию статистических испытаний аналогичных описанных в пункте 7. При этом число реализаций, при которых данные заносятся в таблицу 2 (см. ниже) должно быть не менее 100. Данные заносите в таблицу аналогичную таблице 1.3.

12. Установите число разрядов АЦП *n* = 10 и повторите действия в соответствии с п.п.11.

В отчёте по лабораторной работе полученные зависимости помимо таблиц следует оформить также в виде соответствующих графиков. Общие требования к отчётам по выполненным работам изложены в разделе 1.1

Третий этап работы предполагает проведение дополнительных исследований по усмотрению самого студента, с целью получения дополнительной информации и выявления закономерностей позволяющих ответить на вопросы, приведенные в ниже.

1.2.3 Контрольные вопросы

1. Поясните алгоритм селекции сигнала от малоразмерной цели при обработке исходной реализации содержащей сигнальную, фоновую и шумовую составляющие. Из каких процедур складывается исследуемый алгоритм?

2. Какие виды сглаживающих цифровых фильтров используются в исследуемом алгоритме. Какой из используемых фильтров является линейным? В чем заключаются основные свойства линейных и нелинейных звеньев?

3. Как объяснить результаты, полученные в процессе каждого эксперимента?

5. Из каких соображений следует выбирать оптимальный размер апертуры сглаживающего фильтра? Как размер апертуры влияет на пространственную разрешающую способность АВС наблюдения?

6. Какой из фильтров в составе исследуемого алгоритма позволяет решать задачу селекции точечного объекта при меньшем относительном контрасте объекта на неоднородном фоне (т. е. при большем значении отношения $\Delta \Phi/U_c$)?

7. Какие причины помимо шумов ограничивают возможность обнаружения и селекции малоразмерных целей при больших значениях $\Delta \Phi/U_c$ в случае использования линейного анизотропного и медианного фильтров?

7. В каких случаях (при каких видах подстилающего фона) можно использовать одномерный фильтр для обработки двумерного массива, с целью селекции малоразмерных объектов на неоднородном фоне?

8. В каких случаях предпочтительнее использовать двумерный пространственный медианный фильтр?

9. Из каких соображений следует выбирать форму апертуры двумерного медианного фильтра?

1.3 Измерение координат изображений малоразмерных объектов (Лабораторная работа № 2)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – исследование интерполяционного алгоритма определения координат изображения точечной цели, обоснование требований к параметрам отдельных звеньев проектируемой ABC.

1.3.1 Описание исследуемого алгоритма и лабораторной установки

Оценка координат объектов заключается в вычислении координат характерных точек, связанных с наблюдаемыми объектами, например, изображений энергетических центров координат ИХ ИЛИ точек. соответствующих максимам освещенности в изображениях объектов [1, 6]. Если стоит задача нахождения угловых координат объекта ψ и χ (выраженных в радианах), то пересчет координат изображения точечного объекта х и у (выраженных в числе пространственных периодов матричной устройства) осуществляется структуры фотоприёмного с учетом следующих соотношений:

$$tg\psi = x \cdot d/f \; ; \; tg\chi = y \cdot d'/f \; , \tag{1.4}$$

где: *d* и *d'* – пространственный шаг элементов матричной структуры по горизонтали и вертикали соответственно, *f* – расстояние от объектива до фокусировки изображения. плоскости Очевидно, что подобное устанавливает соотношение связь между среднеквадратическими погрешностями измерения координат σ_x , σ_y и соответствующими погрешностями измерения угловых координат.

Наиболее распространённым алгоритмом оценки координат изображения точечного объекта, формируемого на матричной структуре элементов фотоприёмного устройства (ФПУ), является алгоритм вычисления координат энергетического центра

$$X_{\mathcal{P}} = \left[\sum_{i=1}^{M} [x_i \cdot Q_s(x_i)] \middle| \left[\sum_{i=1}^{M} Q_s(x_i)\right]; \quad Y_{\check{Y}} = \left[\sum_{j=1}^{N} y_i \cdot Q_s(y_j)\right] \middle| \left[\sum_{i=1}^{M} Q_s(y_j)\right] (1.5)$$

Здесь $Q_s(x_i)$ и $Q_s(y_j)$ – суммарные сигналы, полученные в результате сложения сигналов с небольшой группы элементов *i*-го столбца и *j*-й строки ФПУ в окрестностях элемента наибольшего сигнала. N и M – соответственно число столбцов и строк матрицы; x_i и y_j –координаты элементов вдоль направления строк и столбцов элементов ФПУ.

На рисунке 1.8 показано примерное распределение освещенности вдоль оси X, создаваемое оптической системой от точечного источника, и соответствующей ему зарядовый рельеф $Q(X_i)$ вдоль поверхности многоэлементной структуры ФПУ как функция пространственной координаты положения элементов. Как известно, в случае использования линзовой оптической системы при малых (до единиц градусов) углах

падения лучей на плоскость входного зрачка весовая функция объектива может аппроксимироваться гауссоидой вращения.

$$E(x, y) = (\Phi_{e_{\text{H3}}}/2\pi R^2) \times \exp\left\{-\left[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2\right]/2\pi R^2\right\}$$
(1.6)

где R – условны радиус кружка рассеяния, определяемый на уровне $E_m/\sqrt{e} \approx 0,606 E_m$.



Рисунок 1.8 – Распределение освещенности на фоточувствительной площадке ФПУ и формирование зарядового рельефа

Поскольку реальные размеры изображения на фоточувствительной площадке $\Phi\Pi Y$ ограничены сравнительно небольшой областью в окрестностях наиболее освещенного элемента, то на практике можно существенно ограничить (до 7 ÷ 9) число слагаемых под знаком суммы в выражениях (1.5).

Подобный алгоритм требует минимальных вычислительных затрат – несколько операций сложения и умножения (в зависимости от размеров изображения), а также одну операцию деления. Это позволяет его использовать в быстродействующих системах оптической пеленгации при сравнительно небольшом уровне помех. При этом, как показывает анализ, шумовая составляющая среднеквадратической погрешности измерения координат изображения σ_x (или σ_y) обратно пропорциональна отношению сигнал/шум

 $\sigma_x \Delta x$ (или $\sigma_y \Delta y$) $\cong 1/\mu$,

где Δx и Δy – пространственные периоды элементов вдоль направлений строк и столбцов; μ – отношение максимального (пикового) значения напряжения полезного сигнала от наблюдаемого объекта на выходе ФПУ к среднеквадратическому значению напряжения шума.

Однако, при использовании ФПУ, работающих в инфракрасном диапазоне (λ>3 мкм), для которых характерен значительный уровень внутренних шумов, может быть предложен **трёхступенчатый алгоритм**, который включает следующие этапы.

1. Осуществляется предварительная оценка координат в соответствии с выражением (1.5).

2. Полученные значения используются для определения весовых коэффициентов корректирующего квазиоптимального фильтра, в виде аналитической функции, подобной весовой функции используемой оптической системы (например, гауссоиды вращения, рисунок 1.8).

3. Осуществляется повторная оценка координат в соответствии с алгоритмом, подобным выражению (1.5), но с учётом весовых коэффициентов (определенных на предыдущем этапе), на которые умножаются соответствующие значения $Q_{s}(x)$ и $Q_{s}(y)$.

Как показывает анализ, подобный алгоритм позволяет приблизительно на 15 ÷ 20% снизить среднеквадратические погрешности измерения координат объекта при тех же значениях μ [1, 6]. Однако при этом объем вычислительных затрат увеличивается приблизительно втрое.

При малых отношениях сигнал/шум ($\sigma_{\rm m} < 10$) в режиме слежения за объектом более эффективным является алгоритм интерполяции сигналов, снимаемых с отдельных элементов ФПУ по методу наименьшего среднеквадратического отклонения (НСКО) с помощью интерполирующей функции Q(x), адекватной непрерывной функции распределения освещённости в изображении объекта. Подобный алгоритм подробно рассмотрен, например, в работах [1, 6].

На рисунке 1.9 приводится блок-схема, поясняющая логику работы виртуальной лабораторной установки – модели ABC, решающей задачу измерения координат малоразмерных (точечных) целей, выделенных на предыдущих этапах обработки изображений (см. выше, например, описание лабораторной работы №1). В качестве рабочего алгоритма в модели используется алгоритм вычисления координат энергетического центра (ф.1.5).



Рисунок 1.9 – Блок-схема, поясняющая логику работы модели лабораторной установки по исследованию алгоритмов измерения координат точечных объектов



Рисунок 1.10 – Общий вид лицевой панели лабораторной установки «Измерение координат изображения точечной цели»

Элементы, помеченные на рисунке 1.10, имеют следующее назначение.

- 1 и 2 мониторы для отображения полного изображения зоны наблюдения и увеличенного сегмента, содержащего изображение объекта, соответственно.
- 3 и 4 осциллографы для отображения видеосигнала выбранной строки.

Примечание

На мониторе 1 и осциллографе 3 воспроизводятся соответственно изображение и видеосигнал в исходном (аналоговом) виде (т.е. до квантования в узле АЦП). На мониторе 2 и осциллографе 4 воспроизводятся соответственно изображение и видеосигнал после процедур пороговой обработки и квантования в узле АЦП.

- 5 и 6 графопостроители для отображения статических характеристик по горизонтальному (слева) и вертикальному (справа) направлениям перемещения.
- 7 световые индикаторы, сигнализирующие об отсутствии сигнала от цели, т.е. о пропуске объекта при наличии значительных помех (или, например, в том случае, когда изображение точечного объекта попадает в зону нечувствительности между элементами ФПУ).
- 8 световой индикатор готовности результата после завершения цикла построения статических характеристик.
- 9 движок-указатель выбора строки для отображения на экранах осциллографов.

Остальные элементы служат для задания исходных параметров, условий эксперимента и отображения результатов моделирования в цифровой форме.

В качестве исходных параметров, предопределяющих условия эксперимента, используются следующие.

1. Исходные координаты изображения точечной цели *X* и *Y*, выраженные в числе пространственных периодов элементов ФПУ: 0 – 255.

2. Небольшие смещения изображения точечной цели ΔX , ΔY , задаваемые в ручном режиме (при настройке), с целью наблюдения на экранах монитора и осциллографа изменения формы видеосигнала в зависимости от расположения изображения цели относительно фоточувствительных элементов ФПУ: 0 – 2,0 (целые или дробные числа).

3. Сигнал/шум – отношение пикового значения величины сигнала от объекта к среднеквадратическому значению флуктуации шумовой составляющей : 0 – 1000.

4. Фон /сигнал – отношение уровня фоновой составляющей к величине пикового значения сигнала от объекта.

5. *R*/*d* – относительный размер изображения точечной цели, определяемый как отношение условного радиуса кружка рассеяния объектива (*R*) АСН к величине пространственного шага элементов ФПУ (*d*): 0,2 – 3,0 (целые или дробные числа).

6. Число разрядов АЦП (*N*): 1 – 16.

7. Смещение *X*, смещение *Y* – величины смещений координат изображения по горизонтали и вертикали соответственно при построении статической характеристики: 0 – 10,0 (целые или дробные числа).

8. Число реализаций в каждой точке статической характеристики: (1-1000).

1.3.2 Порядок выполнения работы

Перед началом практической части работы необходимо внимательно ознакомиться с описанием исследуемого алгоритма и структурой лабораторной установки, (см. выше). Рекомендуем также изучить перечень вопросов, приведенных в его конце, что позволит более целенаправленно выполнять вторую часть практической работы. При выполнении первого этапа работы рекомендуется делать соответствующие пометки в черновике, которые в дальнейшем будут полезны при подготовке к защите.

Первый этап работы – изучение структуры и возможностей установки целесообразно выполнять в следующем порядке.

1. Включите непрерывный цикл выполнения программы, нажав на кнопку циклического запуска, расположенную в верхней части экрана за

пределами лицевой панели лабораторной установки (см. описание лабораторной работы №1, рисунок 1.7).

2. Установите величину отношения сигнал/шум не менее 50.

3. Установите относительный размер изображения точечной цели приблизительно равным 1 (0,9 < *R*/*d* < 1,1).

4. Установите разрядность АЦП не менее 8.

5. Для удобства наблюдения рекомендуется координаты изображения цели установить приблизительно в середину зоны области наблюдения, приблизительно задав координаты X = 130; Y = 130 (переключатели в нижней части монитора 1). Жёлтым цветом показан порог ограничения видеосигнала, поступающего на вход АЦП.

6. Задайте в ручном режиме небольшие смещения изображения сначала по координате $X(\Delta X = 0,1; 0,2;....1,0)$ с помощью переключателя, расположенного в нижней части монитора 2. Затем аналогичным образом по координате $Y(\Delta Y = 0,1; 0,2;....1,0)$. Понаблюдайте, как при этом меняются осциллограммы, отображающие видеосигнал выбранной строки.

7. Последовательно уменьшая разрядность АЦП (вплоть до значения n=1), наблюдайте за изменением сигналов, воспроизводимых на мониторе 2 и осциллографе 4.

8. Вновь установите значение разрядности не менее 8. Изменяя параметр R/d в диапазоне от 0,2 до 3,0, наблюдайте за изменением сигналов, воспроизводимых на мониторах 1 и 2, а также на осциллографах 3 и 4.

9. Уменьшите величину отношения сигнал/шум до значения, равного 5. Обратите внимание на происходящие изменения. Попробуйте добавить фоновую составляющую с помощью переключателя «фон/сигнал».

Функционирование установки в режиме построения статических характеристик будет рассмотрено в процессе выполнения второго этапа работы.

Второй этап работы – получение ряда зависимостей в процессе статистического моделирования по методу «Монте-Карло», которые можно использовать для обоснования требований к параметрам отдельных звеньев на этапе проектирования ABC.

А) Зависимость среднеквадратической погрешности измерения координат изображения точечного объекта от отношения сигнал/шум

1. Установите значение разрядности n = 8 (9 или 10), величину R/d = 1 (0.9 или 1.1), величину отношения сигнал/шум $\mu = 5$.

2. Задайте величину смещения изображения по осям X и Y (с помощью переключателей, расположенных в нижней части правой половины панели управления) равными 0,1, что соответствует изменению

координат изображения объекта при переходе от точки к точке статической характеристики на 0,1 пространственного шага элементов ФПУ. Задайте число реализаций при обработке каждой точки статической характеристики не менее 100.

3. Нажмите кнопку «ПУСК», расположенную в нижней части правой половины лицевой панели установки. Дождитесь завершения построения статических характеристик. Занесите в таблицу 1.4 (см. ниже) полученные в процессе моделирования значения среднеквадратических погрешностей σ_x и σ_y .

4. Последовательно изменяя величину отношения сигнал/шум $U_c/\sigma_{\rm m}$ в диапазоне от 5 до 1000, проведите серию статистических испытаний, заполняя соответствующие ячейки в таблице 1.4.

5. Уменьшите значение разрядности до значения *n* = 4 и повторите действия в соответствии с п.п. 2 – 4.

Таблица 1.4 – Зависимость среднеквадратической погрешности измерения от отношения сигнал/шум

μ	<i>n</i> = 8 (9 или 10)			n=4			
	σ_{x}	σ_y	$N_{\rm проп.}$	σ_{x}	σ_y	<i>N</i> _{проп.}	
5							
10							
20							
30							
100							
300							
500							
1000							

Примечание

Здесь и далее при определённом соотношении параметров (при малых отношениях сигнал/шум или малых значениях отношения R/d) возможны пропуски объектов в отдельных реализациях. В таких ситуациях загораются световые индикаторы 7 (рисунок 1.10). Зарегистрированное и воспроизводимое на соответствующем цифровом индикаторе число пропусков ($N_{проп.}$), также следует заносить в таблицу 1.4.

Б) Зависимость среднеквадратической погрешности измерения от относительных размеров пятна рассеяния

1. Установите значение разрядности n = 8 (9 или 10), величину R/d=0,2, величину отношения сигнал/шум $\mu = 30$ (или 50).

2. Задайте величину смещения изображения по осям X и Y (с помощью переключателей, расположенных в нижней части правой

половины панели управления) равными 0,1, а также число реализаций для каждой точки статической характеристики.

3. Выполните действия необходимые для заполнения таблицы 1.5.

Таблица 1.5 – Зависимость среднеквадратической погрешности измерения от относительных размеров пятна рассеяния

R/d	μ = 30 (или 50)			μ = 300 (или 500)			
	$\sigma_{\rm x}$	$\sigma_{\rm y}$	N_{n} роп.	$\sigma_{\rm x}$	$\sigma_{\rm y}$	$N_{\text{проп.}}$	
0,2						-	
0,3							
0,5							
0,8							
1,0							
1,5							
2,0							
3,0							

В)Зависимость среднеквадратической погрешности измерения от числа разрядов двоичного кода

1. Установите значение разрядности n = 1, величину R/d = 1 (0.9 или 1.1), величину отношения сигнал/шум $\mu = 10$.

2. Задайте величину смещения изображения по осям X и Y (с помощью переключателей, расположенных в нижней части правой половины панели управления) равными 0,1

3. Выполните действия необходимые для заполнения таблицы 1.6.

Таблица 1.6 – Зависимость среднеквадратической погрешности измерения от числа разрядов двоичного кода

n	$\mu = 10$			$\mu = 100$		
	$\sigma_{\rm x}$	$\sigma_{\rm y}$	$N_{\text{проп.}}$	$\sigma_{\rm x}$	$\sigma_{\rm y}$	$N_{ m npon.}$
1			_			-
2						
3						
16						

Третий этап работы предполагает проведение дополнительных исследований по усмотрению самого студента, с целью получения дополнительной информации и выявления закономерностей позволяющих ответить на вопросы, приведенные в конце.

В отчёте по лабораторной работе полученные зависимости помимо таблиц следует оформить также в виде соответствующих графиков.

Общие требования к отчётам по выполненным работам изложены в начале данного раздела.

1.3.3 Контрольные вопросы

1. Объясните характер полученных зависимостей.

2. Как влияет на погрешность измерения квантование сигнала в блоке АЦП при малых и больших отношениях сигнал/шум?

3. Из каких соображений (с учётом полученных зависимостей) следует выбирать разрядность АЦП при проектировании ABC?

4. Объясните зависимость погрешности измерения от относительного размера изображения объекта.

5. Поясните исследуемый алгоритм определения координат энергетического центра изображения малоразмерного (точечного) объекта. Определите достоинства и недостатки исследуемого алгоритма.

6. Какие другие алгоритмы могут быть использованы для измерения координат точечных целей в АВС?

7. При каких положениях изображения объекта относительно расположения фоточувствительных элементов ФПУ вероятнее всего пропуски объектов и как это объяснить?

8. Какие другие алгоритмы оценки координат изображения точечного объекта на дискретной структуре многоэлементного фотоприёмника Вам известны? Назовите их достоинства и недостатки.

1.4 Обнаружение подвижных объектов (Лабораторная работа № 3)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – исследование алгоритма, основанного на процедурах формирования и обработки межкадрового разностного сигнала (MPC), позволяющего решать задачи обнаружения подвижных объектов на фоне постилающей поверхности, представляющей собой случайное поле яркости.

1.4.1 Описание исследуемого алгоритма и лабораторной установки

Рассмотренный выше алгоритм обнаружения объектов на основе *внутрикадровой* обработки сигнала (лабораторная работа №1) может быть достаточно эффективен, в том случае, когда размеры выделяемых объектов (целей) значительно меньше отдельных деталей фона, обладающих постоянной или медленно изменяющейся яркостью (см. рисунки 1.11 и 1.12). Если размеры выделяемых объектов соизмеримы с «фоновыми» объектами, более эффективными могут оказаться алгоритмы *межкадровой* обработки, позволяющие в качестве идентификационного признака использовать различие динамики относительного движения выделяемых и «фоновых» объектов. Ниже рассмотрим в качестве примера случай обнаружения подвижных объектов на неподвижном фоне.

В общем виде процесс автоматического выделения информации о подвижных объектах на основе алгоритма межкадровой обработки предполагает анализ не одного, а нескольких (как минимум двух) изображений, полученных в различные моменты времени или, точнее, соответствующих им сигналов. В результате такого анализа может осуществляться не только обнаружение объектов, но и определение некоторых информационных параметров объектов: габариты, координаты, скорость и направление перемещения в пространстве. Основная трудность, возникающая при этом, обычно связана с тем, что подвижные объекты часто менее контрастны, чем неподвижные предметы, находящиеся в поле зрения АВС, и, следовательно, не представляется возможным посредством простой амплитудной селекции выделить полезный сигнал от подвижной цели на фоне мешающих фоновых сигналов. Поэтому процесс выделения информации о подвижных объектах распадается на два этапа:

1) формирование межкадрового разностного сигнала (MPC), в котором сосредоточена вся информация об изменениях, происходящих в изображении, и в то же время отсутствуют (или значительно подавлены) мешающие перепады уровня, соответствующие неподвижным объектам, находящимся в кадре;

2) оптимальная обработка MPC с целью выделения необходимой информации с максимальной достоверностью.

Пусть, например, на некотором неоднородном фоне, содержащем неподвижные предметы, перемещается объект *А* (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – *А* – подвижный объект; *B*₁, ... *B*₅ – неподвижные предметы, находящиеся в зоне наблюдения

За время, равное периоду следования сравниваемых кадров $\Delta T_{\rm K}$, объект сместится на некоторое расстояние ΔI .

В общем случае $\Delta T_{\rm K} = k T_{\rm K}$, где k = 1, 2, 3,...– целые числа натурального ряда; $T_{\rm K}$ – период следования смежных кадров. Конкретное значение k выбирается с учётом динамики перемещения объекта, исходя из оптимальных условий формирования MPC.

На рисунке 1.12 показаны осциллограммы видеосигналов, соответствующих выделенной строке «ab» на выходе телевизионного датчика, в двух смежных кадрах. Номера этих кадров условно обозначены индексами «n» и «n+k».

Как видно из рисунка 1.12, разностный сигнал $u_{ab(p.c.)}$, полученный при сравнении сигналов, соответствующих строке «ab» *n*-го и (*n*+*k*)-го кадров, представляет собой биполярные импульсы. Длительность биполярных импульсов τ связана с горизонтальной составляющей v_x скорости движения изображения объекта; интервал времени между импульсами ΔT_x – с горизонтальным размером объекта; интервал времени, отсчитываемый от момента начала прямого хода строчной развертки до появления положительного импульса T_x – с положением объекта в пространстве и т.д.

Важно отметить, что между информационными параметрами объекта (координаты, габариты, скорость и направление перемещения объекта) и параметрами МРС, строго говоря, существует лишь вероятностная связь. Строгая функциональная связь отсутствует, так как во входном сигнале всегда имеются помехи, носящие случайный характер. Поэтому в работе АСН, как и в работе любого оптико-электронной системы, всегда возможны ошибки.

При решении задачи обнаружения подвижных объектов могут иметь место ошибки двух родов.



Рисунок 1.12 – Осциллограммы сигналов, соответствующих строке «*ab*» в двух смежных кадрах (*a*) и (б) соответственно; межкадровый разностный сигнал, полученный от строки «*ab*» (в)

Ошибка первого рода, называемая ложной тревогой, заключается в принятии автоматическим устройством ошибочного решения о наличии сигнала об изменениях в содержании кадра, когда такой сигнал отсутствует, вследствие превышения в какой-либо момент времени напряжением шума $U_{\rm m}(t)$ порогового уровня ε (или Π_0)

$$\left| u_{\rm m}(t) \right| \ge \varepsilon \tag{1.7}$$

или после квантования в узле АЦП

$$\left| Z[E_{i,j(\mathbf{m})}] \right| \ge \Pi_0 \tag{1.7a}$$

Здесь $|Z[E_{i,j(\phi)}]|$ – абсолютное значение шумовой составляющей в межкадровом разностном сигнале, представленном в цифровой форме.

Ошибка второго рода – пропуск сигнала. Она возникает в том случае, если в результате взаимодействия сигнала с шумом на входе порогового устройства суммарное напряжение окажется меньше напряжения порога

$$\left| \boldsymbol{u}_{\mathrm{m}}(t_{i}) + \boldsymbol{u}_{\mathrm{p.c.}}(t_{i}) \right| < \varepsilon \tag{1.8}$$

$$\left| Z[E_{i,j(\mathbf{m})}] + Z[E_{i,j}] \right| \le \Pi_0$$
 (1.8a)

При построении АВС возможен различный подход к решению задачи снижения вероятности ошибок обнаружения.

Если ошибки первого и второго рода являются в равной степени нежелательными, и необходимо добиться минимума полной вероятности ошибки, то величина порога ε должна выбираться из компромиссных соображений, так как для уменьшения вероятности ложной тревоги $P_{\pi\pi}$. необходимо увеличивать порог ограничения, а для уменьшения вероятности пропуска сигнала $P_{\text{проп}}$, наоборот. Такой подход называется критерием «идеального наблюдателя» [3, 4].

Во многих случаях при решении задачи обнаружения ложная тревога может являться наиболее опасной ошибкой, связанной с весьма нежелательными последствиями. Тогда более предпочтительным является иной подход, известный под названием критерия Неймана-Пирсона [3, 4]. Он заключается в том, что вероятность ложной тревоги заранее задана, а задача разработчика сводится к принятию мер, позволяющих уменьшить вероятность пропуска сигнала.

Таким образом, на этапе обработки МРС задача обнаружения объекта наблюдения подвижного В зоне сводится принятию К автоматическим устройством решения: присутствует ли в сигнале $Z'[E_{i,i}]$, поступающем для обработки, признаки, свидетельствующие о наличии подвижного объекта в зоне наблюдения, или таких признаков нет. В общем случае $Z'[E_{i,j}]$ представляет собой смесь полезного сигнала и шума $Z[E_{i,j(\emptyset)}] + Z[E_{i,j}]$. Формальным признаком, позволяющем судить о присутствии подвижного объекта в зоне наблюдения, является превышение значения сигнала $Z'[E_{i,i}]$ (по абсолютной величине) заданного порога.

Выбор порога ограничения ε (или Π_0) определяется соображениями эффективного подавления помехи, присутствующей в разностном сигнале. Порог ограничения должен быть выбран настолько большим, чтобы вероятность ошибочного обнаружения подвижного объекта (вероятность ложной тревоги) была бы не выше допустимой. Если шум на входе порогового устройства имеет нормальное распределение, то вероятность ложной тревоги при двухстороннем пороге ограничения $\pm \varepsilon$ может быть рассчитана по формуле.

$$P_{\text{n.t.}} = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\varepsilon}^{+\varepsilon} e^{-\frac{u^2}{2\sigma^2}} du$$
(1.9)

где: σ – среднеквадратическое значение шумовой составляющей в MPC.

Учитывая симметричность функции, описывающей закон нормального распределения, и производя замену $u/\sigma = x$, формулу (1.9) можно записать иначе

$$P_{\rm I.T.} = 1 - \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{0}^{\varepsilon/\sigma} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = 1 - 2 \cdot \Phi[\varepsilon/\sigma]$$
(1.9a)

Условная вероятность правильного обнаружения (т.е. не пропуска) сигнала от объекта

$$P_{\text{прав.}} = 2\Phi[\mu_{(\text{p.c.})} - \varepsilon/\sigma], \qquad (1.10)$$

где $\mu_{(p.c.)}$ – отношение сигнал/шум в межкадровом разностном сигнале.

В выражениях (1.9a) и (1.10) $\Phi[\nu] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{0}^{\nu} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$ – интеграл

вероятностей.

Важно отметить, что отношение сигнал/шум в межкадровом разностном сигнале $\mu_{(p.c.)}$ всегда меньше отношения сигнал/шум μ в исходных сигналах сравниваемых кадров.

Примем следующие обозначения:

v – скорость перемещения изображения объекта на фоточувствительной площадке ФПУ;

d – пространственный период элементов ФПУ;

 $T_{\rm H}$ – время накопления сигнала в ФПУ (КМОП, ФПЗС и др.);

 T_{κ} – период смены кадров;

 $\Delta T_{\rm k} = k \cdot T_{\rm k}$ – интервал времени между сравниваемыми кадрами, где *k*=1, 2, 3,...– целые числа натурального ряда.

Рассмотрим вначале случай относительно медленных перемещений, когда за время накопления изображение подвижного объекта успевает расстояние значительно переместиться на меньше одного пространственного периода элементов: $T_{\rm H} \cdot v \ll d$. Чтобы зарегистрировать максимально возможные изменения в кадре, связанные с перемещением наблюдаемого объекта необходимо выполнение условия *k*>>1 (т.е. $\Delta T_{\kappa} >> T_{\kappa}$). В этом случае шумовые составляющие в каждом ИЗ сравниваемых кадрах можно рассматривать как случайные между собой не коррелированные процессы. Тогда отношение сигнал/шум в разностном сигнале $\mu_{(p.c.)}$ будет примерно в $\sqrt{2}$ раз меньше отношения сигнал/шум в сравниваемых кадрах

$$\mu_{(p.c.)} \approx \mu/\sqrt{2}$$

(1.11)

В случае быстрых перемещений изображения наблюдаемого объекта, когда $T_{\rm H}$ · v >> d фактическое время накопления $T_{\rm H}$, определяющее величину сигнала от подвижного объекта, уменьшается пропорционально скорости $T_{\rm H} = d/v$. Тогда величину $T_{\rm H} / T_{\rm H} = T_{\rm H}$ · v/d можно рассматривать как коэффициент дополнительного уменьшения отношения сигнал/шум при быстрых перемещениях объекта. Таким образом, фактическое отношение сигнал/шум в разностном сигнале при быстрых перемещениях можно оценивать по приближённой формуле

 $\mu_{(p.c.)} \approx \mu/(\sqrt{2} \cdot T_{\rm H} \cdot v/d). \tag{1.12}$

На рисунке 1.13 приведены примеры, иллюстрирующие процесс формирования МРС при относительно медленных и относительно быстрых
перемещениях объекта в зоне наблюдения при одинаковых отношениях сигнал/шум ($\mu \approx 10$) в исходных видеосигналах.



Рисунок 1.13 – Изображения, соответствующие МРС и осциллограммы выделенной строки при относительно медленных (а) и относительно быстрых (б) перемещениях объекта в зоне наблюдения

Обычно изменения, происходящие в кадре в результате перемещения объектов, находящийся в поле зрения телевизионной системы, занимают несколько раз большую, чем площадь одного площадь как минимум элемента изображения. Поэтому на этапе обработки МРС представляется возможным использовать алгоритм накопления сигналов по площади области изменений, позволяющий значительно повысить чувствительность АВС к обнаружению малоконтрастных подвижных объектов при наличии Указанный значительных шумов BO входном сигнале. алгоритм заключается в следующем.

Площадь кадра разбивается на большое число дискретных участков, каждый из которых анализируется отдельно и является элементарной зоной накопления. Зона накопления представляет собой прямоугольный участок кадра, состоящий из *т*×*n* элементов (рисунок 1.14).

Размеры дискретной области накопления нужно выбирать с таким расчетом, чтобы при любых изменениях в кадре, вызванных перемещением объектов, хотя бы одна из дискретных областей накопления была бы полностью расположена в области изменений (рисунок 1.14).



Рисунок 1.14 – К пояснению выбора размеров дискретной области накопления

При интенсивных шумах, присутствующих в MPC на входе порогового устройства, и, следовательно, при высокой плотности потока ложных сигналов на выходе порогового устройства, могут иметь место ошибочные обнаружения изменений (ложные тревоги) в любой из элементарных зон накопления или в нескольких элементарных зонах.

Обозначим через $P_{n.т.}(k)$ вероятность ложного обнаружения сигнала об изменениях в *k*-той зоне накопления. Тогда вероятность ложной тревоги при анализе сигнала целого кадра можно записать в следующем виде

$$P_{_{\pi.T.}}(T_{_{\rm K}}) = 1 - \prod_{k=1}^{N} \left[1 - P_{_{\pi.T.}}(k) \right]$$
(1.13)

где *N* – число зон накопления в кадре, равное отношению полного числа элементов изображения к числу элементов элементарной зоны накопления

 $N = K/(m \cdot n) \tag{1.14}$

Учитывая, что ложные обнаружения в любой из зон равновероятны, выражение (1.13) можно записать иначе

$$P_{_{\Pi,\mathrm{T}.}}(T_{_{k}}) = 1 - \left[1 - P_{_{\Pi\mathrm{T}}}(k)\right]^{N}$$
(1.15)

Величина $P_{\pi\pi}(k)$ обычно настолько мала ($P_{\pi\pi}(k) <<1$), что выражение можно значительно упростить, ограничившись всего одним членом полинома

$$P_{\text{\tiny Л.T.}}(T_k) \approx N \cdot P_{\text{\tiny Л.T.}}(k) \tag{1.16}$$

Решение об обнаружении подвижного объекта в *k*-той зоне накопления принимается в том случае, если число элементов (в пределах данной зоны накопления), в которых межкадровый разностный сигнал

 $Z'[E_{i,j}]$ (по абсолютной величине) превышает значение заданного порога больше или равно *p* при общем числе $q = m \times n$ элементов ($p \le q$). Иначе говоря, выполняется условие

$$|Z[E_{i,j(\mathbf{m})}] + Z[E_{i,j}]| \ge \Pi_0$$
 (1.17)

в не меньшем, чем *p*, числе элементов в *k*-той зоны накопления.

При этом вероятность ложной тревоги в *k*-той зоне накопления можно вычислить по формуле

$$P_{\text{n.t.}}(k) = \sum_{l=p}^{q} C_{q}^{l} [P_{\text{n.t.}}]^{l} \cdot [1 - P_{\text{n.t.}}]^{q-l}$$
(1.18)

где: $P_{n.т.}$ – вероятность выполнения события, описываемого условием (1.7) (или 1.7а), т.е. вероятность регистрации выброса шума за установленный порог ограничения, которая может быть рассчитана по формуле (1.86а); C_a^l -число сочетаний из q по l.

Вероятность ошибки второго рода – пропуска объекта при использовании рассмотренного алгоритма накопления

$$P_{\text{проп.}}^{(\text{H})} = 1 - P_{\text{прав.}}^{(\text{H})} = \sum_{l=q-p+1}^{q} C_{q}^{l} [P_{\text{проп.}}]^{l} \cdot [1 - P_{\text{проп.}}]^{q-l}$$
(1.19)

где $P_{проп.}$ – вероятность выполнения события, описываемого условиями (8) (или 8а), т.е. условная вероятность пропуска сигнала в одном из элементов зоны накопления, $P_{проп} = 1 - P_{прав}$ В свою очередь $P_{прав}$ может быть рассчитана как формуле (1.10).

Разумеется, что когда размеры подвижных объектов в кадре соизмеримы с размерами одного элемента изображения, применять методы накопления по площади области изменений не удается, и тогда единственной возможностью снижения вероятности ложной тревоги при обнаружении является использование методов оптимальной фильтрации, при которой достигается максимальное отношение сигнал/шум на входе порогового устройства.

На рисунках 1.15 и 1.16 приводится блок-схемы, поясняющие логику работы виртуальной лабораторной установки – модели ABC, решающей задачу обнаружения подвижного объекта на фоне постилающей поверхности, представляющей собой случайное поле яркости. Рисунок 1.14 поясняет логику работы при условии наличия, а рисунок 1.15 – при условии отсутствия объекта в зоне наблюдения ABC.

На рисунке 1.17 показан общий вид лицевой панели соответствующей лабораторной установки.



Рисунок 1.15 – Логика работы модели при условии наличия объекта в зоне наблюдения ABC



Рисунок 1.16 – Логика работы модели при условии отсутствия объекта в зоне наблюдения АНС



Рисунок 1.17 – Общий вид лицевой панели лабораторной установки «Обнаружение подвижных объектов»

Элементы, помеченные на рисунке 1.17, имеют следующее назначение.

1 – вспомогательный монитор для отображения начальных координат объекта, задаваемых с помощью движков-регуляторов, прилегающих к монитору; на экране этого монитора также в виде направленных отрезков отображаются горизонтальная и вертикальная проекции скорости перемещения изображения объекта относительно неподвижного фона.

2 и 3 – мониторы, отображающие изображения предыдущего и последующего сравниваемых кадров при формировании межкадрового разностного сигнала (MPC) в процессе перемещения объекта.

4 – монитор, отображающий изображение, соответствующее межкадровому разностному сигналу.

5 и 6 – осциллографы, служащие для воспроизведения выбранной строки предыдущего и последующего сравниваемых кадров.

7 – осциллограф, предназначенный для воспроизведения выбранной строки в межкадровом разностном сигнале.

8 – световой индикатор, напоминающий о фактическом отсутствии объекта в зоне наблюдения (при проведении статистического эксперимента с целью определения относительного числа ложных обнаружений объекта).

9 – световые индикаторы, сигнализирующие о факте пропуска сигнала от объекта в текущем кадре или о ложном обнаружении объекта (т.е. ложной тревоги) в случае его отсутствия в зоне наблюдения.

10 – кнопки переключения на следующий (или предыдущий) этап функционирования лабораторной установки.

11 – кнопка, используемая для продолжения эксперимента путем добавления числа реализаций в случае достижения движущимся изображением объекта границ поля зрения ABC; при этом осуществляется переход на второй этап («наблюдение»), генерируется следующий фрагмент поля зрения AHC (с новым фрагментом случайного поля фона), и эксперимент продолжается при ранее установленных исходных данных.

12 – движок-регулятор выбора строки, отображаемой на мониторах 2 – 4 (выбранная строка подсвечивается).

Остальные элементы служат для задания исходных параметров и отображения результатов моделирования в цифровой форме.

В рассматриваемой модели в качестве варьируемых исходных параметров, предопределяющих условия эксперимента, используются следующие.

1. Исходные координаты изображения объекта задаются путём перемещения движков в верхней части лицевой панели (модуль «Установки»). Исходные координаты (*X*, *Y*) выражаются числом пространственных периодов фоточувствительных элементов, отделяющих центр изображения объекта от точки начала координат, расположенной в левом нижнем углу рабочей поверхности ФПУ (0 – 511).

скорость Относительная перемещения 2. объекта задаётся горизонтальной и вертикальной составляющими вектора скорости $V_x = L_x/(d_x \cdot T_\kappa); V_v = L_v/(d_v \cdot T_\kappa): 0 - 10,0$ (целые и дробные числа). Здесь $L_x, L_v - 10,0$ величина перемещения изображения объекта на фоточувствительной поверхности многоэлементного ФПУ (КМОП, ФПЗС или др.) по горизонтали или вертикали соответственно; d_x , d_y – пространственный шаг элементов ФПУ по горизонтали или вертикали соответствен; T_к – период следования кадров. Фактически v_x и v_y соответствуют величинам перемещения изображения объекта в плоскости анализа изображения за время смены кадров, измеренную в числе пространственных периодов элементов ФПУ.

3. Максимальный (минимальный) относительный уровень фоновой составляющей $U_{f max} / U_{max}$ ($U_{f min} / U_{max}$): 0 – 1,0. Здесь $U_{f max}$ и $U_{f min}$ –максимальный и минимальный уровни сигнала от фоновой составляющей соответственно; U_{max} – максимальный уровень сигнала, соответствующий верхнему уровню динамического диапазона ФПУ.

4. Относительное значение интервала пространственной корреляции фоновой составляющей (по горизонтали и вертикали) $\tau_{x,v}/d_{x,v}$: 0 – 8.

5. Относительный уровень сигнала от объекта $U_{s max}/U_{max}$: 0 – 1,0. U_{smax} – максимальное (пиковое) значение сигнала от наблюдаемого объекта.

6. Относительные размеры изображения объекта квадратной формы $D_{x,y}/d_{x,y}: 0-8. D_{x,y}$ – размер стороны квадрата, моделирующего изображение объекта.

7. Уровень насыщения $N_{max \ \Phi\Pi Y}$ – максимальное число зарядов, накапливаемых в фоточувствительных ячейках $\Phi\Pi Y$, близкое к насыщению, при котором ещё сохраняется линейность характеристики накопления зарядов: $10^3 - 10^6$. $N_{max \ \Phi\Pi Y}$ фактически определяет верхнюю границу динамического диапазона $\Phi\Pi Y$.

8. Уровень внутреннего шума ФПУ $N_{\sigma \, \text{m} \, \Phi \Pi \text{y}}$ – среднеквадратическое число «шумовых» зарядов, учитывающее все виды флуктуаций зарядов, характеризующих шум ФПУ: 0 – 10³. $N_{\sigma \, \text{m} \, \Phi \Pi \text{y}}$ фактически определяет нижнюю границу динамического диапазона ФПУ.

9. Относительный порог *U*_п/*U*_{σ ш} − отношение уровня порогового напряжения к среднеквадратическому уровню эквивалентного шумового напряжения (учитывающего кроме внутреннего шума ФПУ также «фотонный шум» от фоновой и сигнальной составляющих): 0 – 10,0 (целые или дробные числа).

10. Параметр решающего правила P: 1 - 9. Решающее правило «P из 9-ти» используется при принятии решения об обнаружении объекта. Положительное решение о наличии объекта в зоне наблюдения принимается, если превышения порогового уровня U_{Π} абсолютным значением межкадрового разностного сигнала происходит не менее чем в P смежных элементах сегмента размером 3×3 элемента.

11. Относительный временной интервал $\Delta T/T_{\kappa}$: 1 – 10 (целые числа). Здесь ΔT – интервал времени между сравниваемыми кадрами при формировании межкадрового разностного сигнала; T_{κ} – период следования кадров.

Более подробно алгоритм обнаружения подвижного объекта, включающий решающее правило «*Р*из 9-ти» поясняет структурная схема на рисунке 1.18.

1.4.2 Порядок выполнения работы

Перед началом практической части работы необходимо внимательно ознакомиться с описанием исследуемого алгоритма и структурой лабораторной установки, (см. выше).



Рисунок 1.18 – Алгоритм обнаружения подвижного объекта, включающий решающее правило «Риз 9-ти»

Первый этап работы – изучение структуры и возможностей установки целесообразно выполнять в следующем порядке.

1. Включите непрерывный цикл выполнения программы, нажав на кнопку циклического запуска, расположенную в верхней части экрана за

пределами лицевой панели лабораторной установки (см. описание лабораторной работы №1, рисунок 1.7).

2. Задайте следующие значения исходных параметров, предопределяющих условия моделирования:

- граничные значения, определяющие диапазон изменения относительного уровня фоновой составляющей $U_{fmax}/U_{max} = 0.9$; $U_{fmin}/U_{max} = 0.1$;.
- относительная величин сигнала от подвижного объекта в зоне наблюдения $U_{s max}/U_{max} = 0,6$ (соответствует положительному контрасту изображения объекта на среднем уровне фоновой составляющей);
- максимальное число зарядов, соответствующих уровню насыщения накопительных ячеек ФПУ N_{max фпу} = 10000;
- эквивалентное число «шумовых» зарядов в ячейках ФПУ $N_{\sigma \mu \phi ny} = 100$ (отношение $N_{max \phi ny}/N_{\sigma \mu \phi ny}$ определяет динамический диапазон ФПУ);
- относительная скорость перемещения объекта по горизонтали и вертикали $L_x/(d_x \cdot T_\kappa) = L_y/(d_y \cdot T_\kappa) = 0.9;$
- интервал пространственной корреляции фоновой составляющей

 $\tau_{x,y}/d_{x,y} = 8;$

- относительные размеры квадратного изображения объекта D_{x,y}/d_{x,y}=3;
- величину относительного порога обнаружения $U_{\pi}/U_{\sigma m} = 3,7;$
- параметр P = 3 (решающее правило «Pиз 9» см. рисунок 17);
- относительный временной интервал между сравниваемыми кадрами при формировании MPC $\Delta T/T_{\kappa} = 1$;
- исходные координаты объекта, установленные по умолчанию в левом нижнем углу зоны наблюдения, вначале целесообразно оставить без изменений, в дальнейшем их можно изменять с помощью горизонтального и вертикального движков, расположенных рядом со вспомогательным монитором первой (верхней) секции «Установка» панели управления.
 - 3. Нажмите кнопку [2↓], расположенную справа.

4. Спустя некоторое время, необходимое для моделирования реализации двумерного случайного поля (имитирующего случайное поле яркости подстилающего фона в плоскости объектов), наблюдайте промежуточные результаты на мониторах второй (средней) секции. Левый монитор отображает изображение предшествующего кадра, средний – последующего кадра, а правый изображение, соответствующее межкадровому разностному сигналу (МРС).

5. Когда изображение объекта достигнет приблизительно средины зоны наблюдения остановите процесс моделирования динамики перемещения и формирования МРС, нажав на кнопку [3↓], расположенную справа.

6. Когда загорится зелёный индикатор нижней секции «Результаты» на экранах осциллографов отображаются видеосигналы выбранной строки, соответствующие изображениям, воспроизводимым на мониторах. Переместите движок выбора, расположенный с правой стороны правого монитора, для выделения строки, содержащей сигналы от объекта наблюдения. Обратите внимание. выглядят видеосигналы как сравниваемых кадров и МРС.

Примечание

Кнопка [2↑], расположенная с левой стороны нижней секции служит для добавления числа реализаций, участвующих в статистическом эксперименте, при сохранении ранее установленных исходных параметрах. Она удобна, например, в случаях относительно быстрых перемещений изображения объекта, когда объект достигает границы зоны наблюдения при недостаточном числе реализаций.

7. Нажмите кнопку [1↑] (когда горит индикатор нижней секции «Результаты»). В верхней секции «Установка» уменьшите величину относительного порога ограничения до значения 1,7 или 2.0. Нажмите кнопку [2↓] и наблюдайте за ходом эксперимента. Обратите внимание на возможные появления сигналов о пропуске объекта наблюдения (так называемая ошибка второго рода в задачах обнаружения).

8. Когда вновь загорится зелёный индикатор третьей (нижней) секции нажмите кнопку [1[†]] и, не изменяя других параметров, задайте значение относительного размера изображения объекта $D_{x,y}/d_{x,y} = 0$ (это соответствует отсутствию объекта в зоне наблюдения). Повторите действия, рекомендованные п.п. 3 и 4. Обратите внимание на возможные появления сигналов о ложных обнаружениях объекта в зоне наблюдения).

Примечание

Задание относительной величины сигнала от объекта $U_{s max}/U_{max} = 0$ при $D_{x,y}/d_{x,y} \neq 0$ не устраняет возможность реального обнаружения объекта на светлом участке подстилающего фона.

После выполнения рекомендованных выше шагов можно некоторое время продолжить изучение установки, действуя по собственному усмотрению и руководствуясь определённой логикой.

Второй этап работы – получение ряда зависимостей в процессе статистического моделирования по методу «Монте-Карло», которые можно использовать для оптимизации параметров решающего правила и

обоснования требований к параметрам отдельных звеньев на этапе проектирования АВС.

А) Зависимость числа ложных обнаружений $N_{n.r.}$ от величины относительного порога $U_n/U_{\sigma u.}$

Используя навыки управления лабораторной установкой, полученные в процессе выполнения первого этапа, проведите серию статистических испытаний и заполните таблицу 1.7.

Таблица 1.7 – Зависимость числа ложных обнаружений $N_{n.r.}$ от величины относительного порога U_n/U_{cnn} .

Относительный	$N_{\rm л.т.}$ (%) (процент «ложных тревог»)			
порог $U_{ m n}/U_{ m om}$	P=1	P=2	<i>P</i> =3	P=4
1,5				
2,0				
6,0				

Испытания проводите при следующих исходных данных

 $D_{x,y}/d_{x,y} = 0; U_{f max}/U_{max} = 0,9; U_{f min}/U_{max} = 0,8; \tau_{x,y}/d_{x,y} = 8;$

$$\Delta T/T_{\rm K} = 1; N_{max\,\Phi\Pi Y} = 10^4; N_{\sigma_{\rm HI}\,\Phi\Pi Y} = 10^6$$

(число реализаций при каждом испытании не менее 100)

Б) Зависимость числа пропусков от относительной скорости перемещения объекта

В результате выполнения серии статистических испытаний заполните таблицы 1.8 и 1.9.

Испытания проводите при следующих исходных данных: $U_{f max} / U_{max} = 0.9; U_{f min} / U_{max} = 0.8; U_{s max} / U_{max} = 0.92; \tau_{x,y} / d_{x,y} = 8;$ $D_{x,y} / d_{x,y} = 4; \Delta T / T_{\kappa} = 1; N_{\text{ош ФПУ}} = 10^2; P = 3; U_{\Pi} / U_{\text{о ш}} = 3.7;$

(число реализаций при каждом испытании не менее 100).

Заметим, что при относительно быстрых перемещениях объекта для получения нужного числа реализаций следует воспользоваться кнопкой [2[†]] (см. выше примечание 5).

Таблица 1.8 – Зависимость числа пропусков от относительной скорости при относительно медленных перемещениях объекта.

$U^* - U^*$	<i>N</i> _{проп.} (%) (процент пропусков)			
$V_X = V_y$	$N_{\text{max }\Phi\Pi \text{y}} = 3 \times 10^3$	$N_{ m max \ \Phi\Pi Y} = 10^4$	$N_{\max \Phi \Pi Y} = 3 \times 10^4$	
0,1				
••••				
0,9				

Здесь и далее: $V_x^* = V_y^* = L_x / (d_x \times T_\kappa) = L_y / (d_y \times T_\kappa).$

Таблица 1.9 – Зависимость числа пропусков от относительной скорости при относительно быстрых перемещениях объекта.

	<i>N</i> _{проп.} (%) (процент пропусков)		
$V_x^* = V_y^*$	$N_{\max \Phi \Pi Y} =$	$N_{\rm max \ \Phi\Pi y} = 10^4$	$N_{\text{max }\Phi\Pi \text{y}} = 3 \times 10^4$
	3×10^{3}		
1,0			
2,0			
••••			
••••			
8,0			

В) Зависимость числа пропусков (при медленных перемещениях объекта) от величины относительного временного интервала между сравниваемыми кадрами $\Delta T/T_{\kappa}$

Проводите серию статистических испытаний и заполните таблицу 1.10 при следующих исходных данных:

 $U_{f \max} / U_{\max} = 0,9; U_{f \min} / U_{\max} = 0,8; U_{s \max} / U_{\max} = 0,92; \tau_{x,y} / d_{x,y} = 8;$ $D_{x,y} / d_{x,y} = 4; N_{\max \Phi \Pi Y} = 10^4; N_{\sigma \Pi \Phi \Pi Y} = 10^2; U_{\Pi} / U_{\sigma \Pi} = 3,7; V_x^* = V_y^* = 0,1;$ (число реализаций при каждом испытании не менее 100).

Таблица 1.10 – Зависимость числа пропусков от величины относительного временного интервала $\Delta T/T_{\kappa}$

$\Delta T/T_{ m K}$	<i>N</i> _{проп.} (%) (процент пропусков)			
	<i>P</i> =3	P=4	<i>P</i> =5	
1,0				
2,0				
10,0				

Третий этап работы предполагает проведение дополнительных исследований по усмотрению самого студента, с целью получения дополнительной информации и выявления закономерностей, позволяющих объяснить результаты, полученные при выполнении второго этапа работы, а также ответить на вопросы, приведенные ниже.

В отчёте по лабораторной работе полученные зависимости помимо таблиц следует оформить также в виде соответствующих графиков.

Общие требования к отчётам по выполненным работам изложены в начале данного раздела.

1.4.3 Контрольные вопросы

1. В каких случаях в задачах обнаружения объектов ABC целесообразно использовать алгоритмы, включающие формирование MPC?

2. Как зависит от скорости перемещения объекта реальная величина отношения сигнал/шум в МРС?

3. Как объяснить снижение «обнаружительной способности» ABC при очень малых и при больших скоростях перемещения объектов?

4. Изменяя значение какого из параметров исследуемого алгоритма, можно при данном уровне шумов повысить «обнаружительную способность» АВС в случае очень медленных перемещений объектов в зоне наблюдения?

5. В чём заключается дополнительное решающее правило «*Р*из 9-ти» в составе исследуемого алгоритма?

6. Как связана эффективность применения дополнительного решающего правила «*P*из 9-ти» с относительными размерами объектов и с относительными скоростями их перемещения в зоне наблюдения?

7. Как влияет значение параметра «*P*» на вероятности регистрации ошибок первого и второго рода в задаче обнаружения объектов ABC? Как это объяснить?

8. Чем определяется динамический диапазон ФПУ?

9. Каким образом «обнаружительная способность» АВС связана величиной динамического диапазона ФПУ?

10.Объясните характер всех полученных вами зависимостей.

2 Методическое руководство к выполнению габаритно-энергетических расчётов ABC на основе результатов моделирования

Как правило, целью габаритно-энергетического расчета является определение одного из неизвестных габаритных или энергетических параметров при заданных значениях остальных параметрах, определяющих условия работы и качественные характеристики проектируемой системы.

Рассмотрим несколько конкретных примеров.

2.1 Габаритно-энергетический расчёт АВС, решающей задачу измерения угловых координат точечного источника

Примечание

При выполнении расчётов рекомендуется использовать результаты моделирования, полученные в процессе выполнения лабораторной работы №2.

Состав исходных данных

Тип источника излучения.

Максимальная дистанция наблюдения *S* [м].

Диапазон измеряемых угловых координат ψ , χ [угл. град.].

Среднеквадратическая погрешность измерения σ_x , σ_y [угл. сек.].

Время измерения *T*_и [c].

Коэффициент пропускания оптической системы объектива: $\tau = 0,75$. Параметры фотоприёмного устройства (ФПУ):

-число фоточувствительных элементов *N*×*M*;

– пространственный шаг фоточувствительных элементов d_x , d_y [мкм];

- чувствительность *E_v* [лк] (по источнику типа *A* при номинальном отношении сигнал/шум μ₀;

- спектральная характеристика чувствительности ФПУ.

Число разрядов АЦП п.

Подобная задача обычно сводится к составлению и решению энергетиеского уравнения вида

Величина оптического сигнала, получаемого в плоскости анализа изображения, (с учётом параметров оптической схемы) = Величина оптического сигнала, необходимая и дост ат очная для достижения требуемой точности измерения (2.1)

Типичная оптическая схема подобной АВС показана на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – К пояснению методики габаритно-энергетического расчёта

1. Учитывая, что в данной задаче используется фотоприёмник с накоплением энергии, величину оптического сигнала (выраженного через экспозицию), *который будет создавать объект* наблюдения на фоточувствительной площадке матричной фоточувствительной структуры (ФПЗС) можно найти из известного выражения для энергии экспозиции *H*_{еиз}

$$H_{e_{\rm H3}} = E_{e_{\rm H3}} \cdot T_{\rm H} \tag{2.2}$$

где $E_{e_{\text{ из.}}}$ – энергетическая освещенность в изображении объекта; $T_{\text{н}}$ – время накопления сигнала (время экспозиции).

В свою очередь энергетическая освещенность в изображении объекта определяется

$$E_{e \,_{\text{H3}}} = \Phi_{e \,_{\text{H3}}} / A_{_{\text{H3}}} = \Phi_{e \,_{\text{BX},3}} \cdot \tau / (\pi \cdot D_{_{\text{H3}}}^2 / 4)$$
(2.3)

где $\Phi_{e_{\text{ИЗ.}}}$ – поток излучения создающий изображение объекта; $\Phi_{e_{\text{ВХ.3.}}}$ – поток излучения, попадающий от объекта на входной зрачок объектива; τ – коэффициент пропускания излучения оптической системой; $A_{\text{ИЗ.}}$ – площадь изображения объекта; $D_{\text{ИЗ.}}$ – диаметр изображения объекта.

В свою очередь поток излучения, попадающий на входной зрачок, будет

$$\Phi_{e \text{ bx.3.}} = E_{e \text{ bx.3.}} \cdot A_{\text{bx.3.}} = E_{e \text{ bx.3.}} \cdot \pi \cdot D_{\text{bx.3.}}^2 / 4$$
(2.4)

где $E_{e \text{ вх.3.}}$ – облучённость, создаваемая объектом на входном зрачке; $A_{\text{вх.3.}}$ и $D_{\text{вх.3.}}$ – эффективные площадь и диаметр входного зрачка, соответственно.

Облучённость, создаваемую удаленным точечным объектом на входном зрачке объектива на расстоянии S, можно определить через энергетическую силу излучения объекта I_e

$$E_{e_{\text{BX},3}} = I \cdot \cos \alpha / S^2 = (\Phi_{e_{\text{H}}} / \Omega_{\mu}) \cdot \cos \alpha / S^2$$
(2.5)

где: $\Phi_{e_{H}}$ и Ω_{H} – поток и телесный угол излучения объекта, соответственно; α – максимальный угол падения лучей от объекта на плоскость входного зрачка на краю поля зрения (в нашем случае $\alpha \approx \psi$ или χ).

Подставив выражения (3-5) в выражение (2), получим

$$H_{e_{\rm H3}} = \frac{\Phi_{e_{\rm H}} D_{_{\rm BX,3.}}^2 \tau T_{_{\rm H}} \cos \alpha}{\Omega_{_{\rm H}} S^2 D_{_{\rm H3}}^2}$$
(2.6)

2. С другой стороны величина экспозиции излучения объекта, *которая должна быть создана* на фоточувствительной площадке фотоприёмного

устройства (ФПУ) для достижения требуемой точности измерения координат

$$H_{e \mu 3} = H_{e n \rho} \cdot \mu = E_{e n \rho} \cdot T_{H} \cdot \mu$$
(2.7)

где $H_{e \text{ пор.}}$ и $E_{e \text{ пор.}}$ – соответственно пороговые экспозиция и облучённость на фоточувствительной площадке ФПУ, при которых величина полезного сигнала численно равна уровню шумов; μ – требуемое отношение сигнал/шум, при котором величина погрешности измерения любого параметра не превышает допустимой величины.

Поскольку в справочнике для выбранного фотоприёмника значение пороговой освещенности дано не в оптической [Bt/m²], а в световой [лк] системе единиц причём с «привязкой» к паспортному источнику излучения типа «*A*» при стандартном времени экспозиции $T_{\rm H \ nacn}$, то в окончательном виде выражение (7) примет вид

$$H_{e \mu 3} = E_{\nu \pi 0 p} \cdot T_{\mu \pi a c \pi} \cdot \mu \cdot \chi_{\pi} / (\chi_{p} \cdot K_{\lambda \max})$$
(2.7a)

где $E_{v \text{ пор.}}$ – значение пороговой освещенности на фоточувствительной площадке ФПУ при стандартном времени экспозиции (накопления) $T_{\text{нпасп.}}=20$ мс; χ_{Π} и χ_{p} – соответственно коэффициенты использования фотоприемником паспортного и реального источников; $K_{\lambda \text{ max}} = 683 \text{ лм/Bt} -$ коэффициент максимальной спектральной эффективности глаза. Коэффициенты χ_{Π} и χ_{p} могут быть рассчитаны по известной методике [7].

С учётом способа задания чувствительности ФПУ (см. исходные данные) очевидно, что

$$E_{v nop} = E_v / \mu_0 \ [\pi \kappa].$$
 (2.8)

Приравнивая правые части выражений (2.6) и 2.(7а) с учётом (8) и решая полученное уравнение, получим выражение для расчёта диаметра входного зрачка объектива

$$D_{BX.3p.} = SD_{H3.} \sqrt{\frac{E_{\nu} T_{H \operatorname{nacn}} \mu \chi_{\Pi} \Omega_{\mu}}{\mu_0 \Phi_{e\mu} \tau T_{H} \cos \alpha \chi_p K_{\lambda}}}.$$
(2.9)

В формуле (2.9) остаются неопределёнными величины μ и D_{μ_3} . Оптимальные значения этих параметров могут быть найдены на основе использования ранее полученных результатов моделирования (см. описание и зависимости, полученные в процессе выполнения лабораторной работы №2). При этом эффективный диаметр изображения D_{μ_3} в выражении (2.9) и радиус кружка рассеяния R в выражении (1.6) связаны следующим соотношением:

 $D_{\rm H3} = 2,83R. \tag{2.10}$

Очевидно, что оптимальное значение фокусного расстояния f связано с размерами фоточувствительной площадки ФПУ и угловыми размерами поля зрения системы, определяемыми заданным диапазоном измерения угловых координат объекта соотношением

 $f = a/2tg \psi_{max}$ или $f = a'/2tg \chi_{max}$ (2.11)

где: Ψ_{max} и χ_{max} – максимальные значения угловых координат объекта; *а* и a' – размеры фоточувствительной площадки ФПУ по горизонтали и вертикали соответственно.

Подобное соотношение устанавливает связь между среднеквадратическими погрешностями измерения угловых координат объекта наблюдения $\sigma\psi$ и $\sigma\chi$, с одной стороны, и среднеквадратическими погрешностями измерения координат изображения σx и σy с другой.

Рекомендуемый порядок выполнения расчёта

- 1. Определяются размеры фоточувствительной поверхности ФПУ а и а'.
- 2. Определяется фокусное расстояние объектива f.
- 3. Определяются допустимые значения среднеквадратических погрешностей измерения координат энергетического центра изображения источника σ_x и σ_y.
- 4. Используя зависимости, полученные в ходе выполнения лабораторной работы №2, также, приведённые в приложении, определяются необходимое значение отношения сигнал/шум µ и оптимальное значение радиуса кружка рассеяния *R*, при котором минимизируются погрешность измерения, обусловленная дискретным характером фоточувствительной поверхности.
- 5. Определяется оптимальный эффективный диаметр изображения D_{μ_3} .
- 6. Выполняется расчёт диаметра входного зрачка *D*_{вх.зр.}

2.2 Расчёт эффективного диаметра входного зрачка и фокусное расстояние астродатчика

Требуется определить необходимый эффективный диаметр входного зрачка и фокусное расстояние объектива оптико-электронного астродатчика (АД), входящего в состав автономной системы астроориентации. АД осуществляет измерение угловых координат, выбранной «опорной» звезды.

Примечание

При выполнении расчётов рекомендуется использовать результаты моделирования, полученные в процессе выполнения лабораторной работы №2.

Состав исходных данных

Максимальное эффективное значение звёздной величины $m_{\rm эфф.}$

Диапазон измеряемых угловых координат ψ , χ [угл. град.].

Среднеквадратическая погрешность измерения σ_x , σ_y [угл. сек.]

Время измерения T_{μ} [c].

Коэффициент пропускания оптической системы объектива: $\tau = 0,75$.

Параметры фотоприёмного устройства (ФПУ):

– число фоточувствительных элементов (*N*×*M*): 500×576;

– пространственный шаг фоточувствительных элементов d_x , d_y [мкм];

– чувствительность: [лк] при номинальном отношении сигнал/шум $\mu_0;$

- спектральная характеристика чувствительности ФПУ;

Число разрядов АЦП *п*.

Краткие теоретические сведения

Излучение звёзд принято оценивать в звёздных величинах *m*, определяющих меру *видимого блеска звёзд*. Под видимым блеском звезды понимают величину, характеризующую освещенность *E*, создавемую звездой на границе земной атмосферы на площадке, перпендикулярной направлению излучения. При этом звёздная величина определяется из следующего выражения (см. например, [7]):

 $m = -2.5 \, lgE + m_0, \tag{2.12}$

где *m*₀ - эффективное значение звёздной величины, при которой создаётся освещенность 1 лк на поверхности Земли (или на границе земной атмосферы.

Для земной поверхности $m_0 = -14,2$ (на границе земной атмосферы $m_0 = -13,89$). Под эффективным значением звёздной величины $m_{3\phi\phi}$. будем понимать звёздную величину, согласованную используемым ФПУ, (т.е. пересчитанную с учётом относительной спектральной чувствительности используемого фотоприёмника и относительной спектральной плотности энергетической освещённости от данной звезды).

Решение поставленной задачи обычно (также как и в первом примере) предполагают составление и решение уравнения вида (2.1).

1. Учитывая, что в данной задаче используется фотоприёмник с накоплением энергии, величину оптического сигнала (выраженного через экспозицию), **который будет создавать объект** наблюдения на фоточувствительной площадке матричной фоточувствительной структуры (ФПЗС) можно найти из известного выражения для энергии экспозиции *H*_{еиз}

$$H_{_{\rm H3}} = E_{_{e \,\,\rm H3}} \cdot T_{_{\rm H}}\,,\tag{2.13}$$

где $E_{\text{из}}$ – освещенность в изображении объекта; $T_{\text{н}}$ – время накопления сигнала (время экспозиции).

В свою очередь энергетическая освещенность в изображении объекта определяется следующим образом

$$E_{_{\rm H3.}} = \Phi_{_{\rm H3}} / A_{_{\rm H3}} = \Phi_{_{\rm BX.3}} \cdot \tau / (\pi \cdot D_{_{\rm H3}}^2 / 4), \qquad (2.14)$$

где $\Phi_{_{\rm H3.}}$ – поток излучения создающий изображение объекта; $\Phi_{_{\rm BX.3.}}$ – поток излучения, попадающий от объекта на входной зрачок объектива; τ – коэффициент пропускания излучения оптической системой; $A_{_{\rm H3.}}$ – площадь изображения объекта; $D_{_{\rm H3.}}$ – диаметр изображения объекта.

В свою очередь поток излучения, попадающий на входной зрачок, будет

$$\Phi_{\rm BX,3} = E_{\rm BX,3} \cdot A_{\rm BX,3} = E_{\rm BX,3} \cdot \pi \cdot D_{\rm BX,3}^2 / 4, \qquad (2.15)$$

где $E_{\text{вх.3.}}$ – освещенность, создаваемая объектом на входном зрачке; $A_{\text{вх.3.}}$ и $D_{\text{вх.3.}}$ – эффективные площадь и диаметр входного зрачка, соответственно.

В свою очередь облучённость, создаваемую звездой на входном зрачке объектива можно расчитать, исходя из определения звёздной величины

$$E_{\rm BX.3} = 10^{-\frac{m_{\rm 3pp}, -m_0}{2,5}}.$$
 (2.16)

Подставив выражения (2.14 – 2.16) в выражение (2.13), получим:

$$H_{\mu_3} = T_{\mu} \cdot \tau \frac{D_{\mu_3}^2}{D_{\mu_3}^2} \cdot 10^{-\frac{m_{3\phi\phi} - m_0}{2.5}}$$
(2.17)

2. С другой стороны величина экспозиции излучения объекта, *которая должна быть создана* на фоточувствительной площадке фотоприёмного устройства (ФПУ) для достижения требуемой точности измерения координат

$$H_{\mu_3} = H_{nop} \cdot \mu = E_{nop} \cdot T_{\mu} \cdot \mu, \qquad (2.18)$$

где $H_{\text{пор}}$ и $E_{\text{пор.}}$ – соответственно пороговые экспозиция и облучённость на фоточувствительной площадке ФПУ, при которых величина полезного сигнала численно равна уровню шумов; μ – требуемое отношение сигнал/шум, при котором величина погрешности измерения любого параметра не превышает допустимой величины.

Поскольку в справочнике для выбранного фотоприёмника значение пороговой освещенности дано при стандартном времени экспозиции $T_{\rm H \ nacn}$, то в окончательном виде выражение (7) примет вид

 $H_{\mu_3} = E_{\Pi OP} \cdot T_{\Pi AC\Pi} \cdot \mu , \qquad (2.18a)$

где $E_{\text{пор.}}$ – значение пороговой освещенности на фоточувствительной площадке ФПУ при стандартном времени экспозиции (накопления) $T_{\text{н пасп.}} = 20$ мс. С учётом способа задания чувствительности ФПУ (см. исходные данные) очевидно, что

$$E_{\rm nop} = E_{\rm v}/\mu_0 \ \ [\rm Jik]. \tag{2.19}$$

Приравнивая правые части выражений (2.17) и (1.18а) с учётом (1.19), получим уравнение, из которого выводим выражение для расчёта искомого диаметра входного зрачка

$$D_{\rm BX.3p.} = D_{\rm H} \sqrt{\frac{E_{\nu} T_{\rm macn} \,\mu}{\mu_0 T_{\rm H} \tau} 10^{\frac{m_{\rm sph} - m_0}{2.5}}}$$
(2.20)

В формуле (2.20) остаются неопределёнными величины µ и D_{μ_3} . Оптимальные значения этих параметров могут быть найдены на основе использования ранее полученных результатов моделирования (см. описание и зависимости, полученные в процессе выполнения лабораторной работы N 2). При этом эффективный диаметр изображения D_{μ_3} в выражении (2.9) и радиус кружка рассеяния R в выражении (1.6) связаны соотношением (2.10).

Оптимальное значение фокусного расстояния f связано с размерами фоточувствительной площадки ФПУ и угловыми размерами поля зрения системы, определяемыми заданным диапазоном измерения угловых координат объекта соотношением (2.11).Подобное соотношение среднеквадратическими погрешностями устанавливает связь между измерения угловых координат объекта наблюдения σ_{ψ} и σ_{γ} , с одной стороны, среднеквадратическими погрешностями измерения координат И изображения σ_x и σ_y с другой.

Рекомендуемый порядок выполнения расчёта

- 1. Определяются размеры фоточувствительной поверхности ФПУ а и а'.
- 2. Определяется фокусное расстояние объектива *f*.
- 3.Определяются допустимые значения среднеквадратических погрешностей измерения координат энергетического центра изображения источника σ_x и σ_y .
- 4. Используя зависимости, полученные при выполнении лабораторной работы №2, определяются необходимое значение отношения сигнал/шум µ и оптимальное значение радиуса кружка рассеяния *R*, при котором минимизируются погрешность измерения, обусловленная дискретным характером фоточувствительной поверхности ФПУ.
- 5. Определяется оптимальный эффективный диаметр изображения $D_{\text{из.}}$
- 6. Вычисляется эффективный диаметр входного зрачка оптической системы АВС.

2.3 Расчёт характеристики обнаружения АВС малоразмерного (точечного) объекта

АВС решает задачу обнаружения точечных объектов. Необходимо выполнить расчёты, с целью определения зависимости вероятности обнаружения от энергетической силы излучения объекта при допустимом значении вероятности ложной тревоги в течение времени наблюдения 1 с. Построить график полученной характеристики обнаружения.

Исходные данные

Эффективный диаметр входного зрачка объектива: $D_{\text{вх. 3}}$ [мм].

Длина волны, максима спектральной плотности излучения λ_{*max*} [мкм]. Угловые размеры поля зрения ABC ψ, χ [угл. град.].

Допустимая вероятность ложной $P_{\text{л.т.}}$ тревоги за контрольное время наблюдения T_{κ} [c].

Время принятия решения *T*_p [c].

Максимальная дальность обнаружения объектов *S* [м].

Радиус кружка рассеяния *R* [мкм].

Коэффициент пропускания оптической системы объектива т.

Параметры фотоприёмного устройства (ФПУ):

- число фоточувствительных элементов *N*×*M*;

– пространственный шаг фоточувствительных элементов d_x , d_y [мкм];

– чувствительность *E_v* [лк] (при номинальном отношении сигнал/шум µ₀);

– спектральная характеристика чувствительности;

– коэффициент использования излучения паспортного источника χ_n).

Число разрядов АЦП *п*.

Число расчётных точек характеристики обнаружения не менее 8-ми в диапазоне значений вероятности правильного обнаружения $P_{\text{прав.}}$ от 0,2 до 0,95.

Краткие теоретические сведения и предпосылки к расчёту

Зависимости вероятности правильного обнаружения от какого-либо энергетического параметра, например, от энергетической силы излучения объекта при допустимом значении вероятности ложной тревоги в течение определённого контрольного времени непрерывного наблюдения называется *характеристикой обнаружения*. Примерный вид ожидаемой характеристики обнаружения показан на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Примерный вид характеристики обнаружения

В обобщённой форме операция обнаружения объектов (т.е. операция выявления образов объектов в искажённом шумами и помехами изображении) может быть определена в виде процедуры сравнения с некоторым числом – порогом другого числа, полученного в результате преобразования анализируемого изображения, представленного, в конечном счёте, в виде матрицы-массива целых чисел *E*_{*i*,*j*} [1,3]

 $L[E_{i,j_i}] \ge \prod [E_{i,j_i}].$

Здесь L[*] – оператор преобразования исходного изображения; $\Pi[*]$ – оператор формирования порогового значения.

(2.21)

В случае выполнения условия (1.21) принимается решение о наличии объекта, в противном случае – об отсутствии его. При этом качество обнаружения характеризуется двумя параметрами:

– вероятностью правильного обнаружения, которая равна вероятности выполнения условия (1.21), при наличии объекта в анализируемом изображении;

– вероятностью ложной тревоги, равной вероятности выполнения условия (1.21) при отсутствии объекта в анализируемом изображении.

Конкретный вид операторов L[*], $\Pi[*]$, а также качество обнаружения зависят от наличия априорных сведений об ожидаемых объектах, шумах помехах и искажениях. В общем случае научной основой для определения оптимальных параметров решающего правила является теория статистических решений [9].

Заметим, что при наблюдении ABC так называемого точечного объекта (т.е. объекта размерами которого можно пренебречь по сравнению с размерами поля зрения системы) форма изображения объекта однозначно определяется функцией пятна рассеяния объектива. Поскольку функциею пятна рассеяния объектива можно считать известной, задача фактически сводится к классической процедуре обнаружения сигнала известной формы на фоне аддитивных нормальных шумов с нулевым средним значением. В этом случае в качестве оператора преобразования исходного изображения выступает корреляционный интеграл, вычисляемый с использованием заданного описания известного изображения объекта. Тогда параметры, характеризующие качество обнаружения определяются достаточно просто.

Вероятность ложной тревоги

$$P_{\Pi \Pi} = 1 - \Phi[\Pi_0 / \sigma_L];$$
 (2.22)

а условная вероятность правильного обнаружения

 $P_{\Pi \text{DBB.}} = \Phi[(L_{\text{c}} - \Pi_{\text{o}})/\sigma_L], (2.23)$

где: $L_{\rm c}$ – среднее значение корреляционного интеграла при наличии объекта; σ_L – среднеквадратическое отклонение корреляционного интеграла, обусловленное наличием помех; Π_0 – порог обнаружения; $\Phi[v] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^v e^{-\frac{x^2}{2}} dx$ – интеграл вероятностей.

В данном примере, рассматривающем случай обнаружения точечного объекта, в качестве параметра σ_L можно в первом приближении при практических расчётах использовать параметр $\sigma_{\rm m}$ – среднеквадратическое значение флуктуации шумовой составляющей в сигнале, получаемом с одного элемента ФПУ (КМОП, ФПЗС и др.).

Большее практическое значение при оценке качественных характеристик ABC (в частности, характеристик обнаружения) имеет такой параметр как вероятность ложной тревоги при условии непрерывной работы ABC в течении заданного контрольного времени наблюдения (например, $T_{\kappa} = 1$ с).

Обозначим $P_{\pi\tau(1)}$ – вероятность ложной тревоги при однократном опросе ФПУ. Тогда

$$P_{\pi.T.} = 1 - \prod_{j=1}^{K} \left[1 - P_{\pi.T.(1)} \right] = 1 - \left[1 - P_{\pi.T.(1)} \right]^{K} , \qquad (2.24)$$

где *К*число опросов $\Phi \Pi Y$ за время T_{κ} .

В свою очередь вероятность $P_{\rm JTT(1)}$ зависит от числа элементов ФПУ *М*×*N*и вероятности регистрации ложного сигнала в каждом из них

$$P_{_{\Pi.T.(1)}} = 1 - \prod_{j=1}^{M \times N} [1 - P_{_{\Pi.T.}}(j)] = 1 - [1 - P_{_{\Pi.T.(1)}}]^{M \times N}, \qquad (2.25)$$

где $P_{\text{л.т.}}(j)$ – вероятность ложной тревоги в *j*-том элементе.

Легко доказать, что при очень малых значениях $P_{\text{лт}(1)}$ и $P_{\text{л.т.}}(j)$, что и представляет набольший практический интерес, справедливо приближённое выражение

 $P_{\text{I.T.}} \approx K \times M \times N \times P_{\text{I.T.}}(j). \tag{2.26}$

Таким образом, по заданной допустимой вероятности $P_{n.т.}$ с учётом числа элементов ФПУ и частоты опроса ФПУ можно найти допустимую вероятность $P_{n.т.}(j)$

$$P_{\rm n.r.}(j) = P_{\rm n.r.}/(KMN), \qquad (2.27)$$

где: $K = T_{\kappa} \times f$, f – частота опроса $\Phi \Pi Y \approx 1/T_{\rm H}$; $T_{\rm H}$ – время накопления энергии сигнала в $\Phi \Pi Y$.

Исходя из заданных параметров оптической системы и параметров $\Phi\Pi Y$ (см. исходные данные) можно считать, что изображение точечного объекта будет иметь размеры приблизительно равные размерам фоточувствительного элемента. При этом влияние случайного фактора попадания изображения объекта на матричную структуру элементов $\Phi\Pi Y$ можно учесть коэффициентом с помощью поправочного коэффициента ($k \approx 0,75$), несколько снижающего реальное отношение сигнал/шум на входе решающего устройства.

Пренебрегая погрешностью квантования сигнала в узле АЦП по сравнению с влиянием шумов (при $n \ge 10$), вероятность $P_{n.т.}(j)$ можно рассчитать по формуле

 $P_{\Pi,T.}(j) = 0,5 - \Phi[\Pi_0/\sigma_{III}],$ (2.28) где: $\Phi[v]$ – интеграл вероятностей (см. ф. 2.23); Π_0/σ_{III} – относительный порог обнаружения.

Условна вероятность правильного обнаружения

$$P_{\text{прав.}} = 0.5 + \Phi[k \cdot \mu - \Pi_0 / \sigma_{\text{m}}], \qquad (2.29)$$

где *k*·µ – эффективное отношение сигнал шум на входе решающего устройства.

Заметим, что при больших значения аргумента v>5 вычисление функции Ф[v] рекомендуется выполнить по приближённой формуле с использованием асимптотического ряда

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{0}^{x} e^{-\frac{x^{2}}{2}} dx = 0, 5 - \frac{e^{-x/2}}{x\sqrt{\pi}} \left[1 - \frac{1}{x^{2}} + \frac{1 \cdot 3}{x^{4}} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{x^{6}} + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7}{x^{8}} \dots \right].$$
(2.30)

При малых значениях v < 3 рекомендуется использовать табличные значения функции $\Phi[v]$.

Таким образом, используя выражения (2.24 – 2.28 и 2.30), при заданной величине $P_{\pi.T}$ можно рассчитать необходимое значение относительного порога обнаружения $\Pi_0/\sigma_{\rm m}$, который входит в выражение (2.29) для расчёта вероятности правильного обнаружения.

Нетрудно показать, что величину отношения сигнал/шум µ можно связать с энергетической силой излучения объекта путём решения уравнения вида

Величина оптического сигнала, получаемого в плоскости анализа изображения, (с учётом параметров оптической схемы)	=	Величина оптического сигнала, <i>необходимая и достаточная</i> для достижения заданной вероятности обнаружения при допустимой вероятности ложной
---	---	--

Оптическая схема АВС показана на рисунке 2.1.

1. Учитывая, что в данной задаче используется фотоприёмник с накоплением энергии, величину оптического сигнала (выраженного через экспозицию), *который будет создавать объект* наблюдения на фоточувствительной площадке матричной фоточувствительной структуры (ФПЗС) можно найти из известного выражения для энергии экспозиции

$$H_{e_{\rm H3}}: H_{e_{\rm H3}} = E_{e_{\rm H3}} \cdot T_{\rm H}, \qquad (2.31)$$

где $E_{e \, \text{из.}}$ – энергетическая освещенность в изображении объекта; $T_{\text{н}}$ – время накопления сигнала (время экспозиции).

В свою очередь энергетическая освещенность в изображении объекта определяется

$$E_{e_{\rm H3.}} = \Phi_{e_{\rm H3}} / A_{\rm H3} = \Phi_{e_{\rm BX.3}} \cdot \tau / (\pi \cdot D_{\rm H3}^2 / 4), \qquad (2.32)$$

где $\Phi_{e_{\text{ИЗ.}}}$ – поток излучения создающий изображение объекта; $\Phi_{e_{\text{ВХ.3.}}}$ – поток излучения, попадающий от объекта на входной зрачок объектива; τ – коэффициент пропускания излучения оптической системой; $A_{\text{ИЗ.}}$ – площадь изображения объекта; $D_{\text{ИЗ.}}$ – диаметр изображения объекта.

Поток излучения, попадающий на входной зрачок, будет

$$\Phi_{e \text{ BX.3}} = E_{e \text{ BX.3}} \cdot A_{\text{BX.3}} = E_{e \text{ BX.3}} \cdot \pi \cdot D_{\text{BX.3}}^2 / 4, \qquad (2.33)$$

где $E_{e \text{ вх.3.}}$ – облучённость, создаваемая объектом на входном зрачке; $A_{\text{вх.3.}}$ и $D_{\text{вх.3.}}$ – эффективные площадь и диаметр входного зрачка, соответственно.

В соответствии с оптической схемой, приведённой на рисунке 2.1 облучённость, создаваемую удаленным точечным объектом на входном зрачке объектива на расстоянии S, можно определить через энергетическую силу излучения объекта I_e

$$E_{e \text{ BX.3}} = I_e \cdot \cos \alpha / S^2, \qquad (2.34)$$

где α – максимальный угол падения лучей от объекта на плоскость входного зрачка на краю поля зрения (в нашем случае $\alpha \approx \psi$ или χ).

Подставив выражения (2.32 – 2.34) в выражение (2.31), получим:

$$H_{e_{\rm H3}} = \frac{I_e \cdot D_{_{\rm BX,3}}^2 \tau \ T_{_{\rm H}} \cos \alpha}{S^2 \ D_{_{\rm H3}}^2} \ . \tag{2.35}$$

2. С другой стороны величина экспозиции излучения объекта, *которая должна быть создана* на фоточувствительной площадке фотоприёмного устройства (ФПУ) для достижения заданной вероятности обнаружения

$$H_{e \mu_3} = H_{e nop} \cdot \mu = E_{e nop} \cdot T_{\mu} \cdot \mu, \qquad (2.36)$$

где $H_{e \ nop.}$ и $E_{e \ nop.}$ – соответственно пороговые экспозиция и облучённость на фоточувствительной площадке ФПУ, при которых величина полезного сигнала численно равна уровню шумов; μ – требуемое отношение сигнал/шум, при котором достигается заданная вероятности обнаружения (при допустимой вероятности ложной тревоги).

Поскольку в справочнике для выбранного фотоприёмника значение пороговой освещенности дано не в оптической [Вт/м²], а в световой [лк] системе единиц причём с «привязкой» к паспортному источнику излучения при стандартном времени экспозиции $T_{\rm H\ пасп}$, то в окончательном виде выражение (7) примет вид

$$H_{e \, \mu 3} = E_{\nu \, \text{nop}} \cdot T_{\text{nacn}} \cdot \mu \cdot \chi_{\text{n}} / (\chi_{\text{p}} \cdot K_{\lambda \, \text{max}}), \qquad (2.36a)$$

где $E_{v \text{ пор.}}$ – значение пороговой освещенности на фоточувствительной площадке ФПУ при стандартном времени экспозиции (накопления) $T_{\text{нпасп.}}=20$ мс; χ_{π} и χ_{p} – соответственно коэффициенты использования фотоприемником паспортного и реального источников; $K_{\lambda \text{ max}} = 683 \text{ лм/Bt} -$ коэффициент максимальной спектральной эффективности глаза. Коэффициенты χ_{π} и χ_{p} могут быть рассчитаны по известной методике [7]. С учётом способа задания чувствительности ФПУ (см. исходные данные) очевидно, что

 $E_{v \,\text{nop.}} = E_v / \mu_0 \quad [\pi \kappa]. \tag{2.37}$

Приравнивая правые части выражений (2.35) и (2.36а) с учётом (17) и решая полученное уравнение, получим выражение для расчёта значений энергетической силы излучения объекта необходимых для достижения

различных значений µ, предопределяющих вероятности правильного обнаружения объектов.

$$I_{e} = \frac{D_{_{\text{H3.}}}}{D_{_{\text{BX.3.}}}} S_{\sqrt{\frac{E_{_{V}}T_{_{\text{пасп.}}}\mu\chi_{_{\Pi}}}{\mu_{_{0}}\chi_{_{p}}K_{_{\lambda}\max}\tau T_{_{\text{H}}}\cos\alpha}}}$$
(2.38)

В формуле (2.38) остаётся пока неопределённой величина D_{μ_3} . При решении подобной задачи функцию рассеяния объектива удобно аппроксимировать гауссоидой вращения (см. выражение 1.6). При этом эффективный диаметр изображения D_{μ_3} в выражении (2.38) и радиус кружка рассеяния *R* в выражении (1.6) связаны соотношением (2.10)

Рекомендуемый порядок выполнения расчёта

- 1. Определяются размеры фоточувствительной поверхности ФПУ а и а[/].
- 2. Определяется фокусное расстояние объектива *f*.
- 3. Рассчитывается допустимое значение $P_{\pi.\pi.}(j)$ вероятность ложной тревоги в *j*-том элементе ФПУ.
- 4. С учётом полученного значения $P_{\pi.т.}(j)$ определяется $\Pi_0/\sigma_{\rm m}$ относительный порог обнаружения.
- 5. Для 8-ми или 10-ти значений вероятности обнаружения $P_{\text{прав.}}$ (в заданном диапазоне значений) с учетом соотношений, определяемых выражениями 2.28 2.30, определяются необходимые значения отношений сигнал/шум μ .
- 6. Определяется коэффициент использования приёмником излучения реального источника χ_p[1] (см. также приложение).
- 7. Рассчитывается ряд значений *I_e*, соответствующих значениям µ, определённым на шаге 5.
- 8. Выполняется построение графика характеристики обнаружения.

3 Варианты заданий для самостоятельных расчётов

Вариант задания №1

Выполнить габаритно-энергетический расчёт автоматизированной видеоинформационной системы (ABC), осуществляющей измерение угловых координат точечного источника излучения: определить минимально необходимый диаметр входного зрачка и фокусное расстояние объектива.

Исходные данные

Источник излучения: светодиод АЛ119.

Максимальная дистанция наблюдения (S): 120 м.

Диапазон измеряемых угловых координат (ψ , χ): $\pm 2^{\circ}$

Среднеквадратическая погрешность измерения: 1,5 угл. сек.

Время измерения (*T*_и): 0,1 с.

Коэффициент пропускания оптической системы объектива: $\tau = 0,75$ Параметры фотоприёмного устройства (ФПУ):

– число фоточувствительных элементов ($N \times M$): 500×576;

– пространственный шаг фоточувствительных элементов ($d_x = d_y$): 12 мкм;

– чувствительность (E_v): 0,05 лк (по источнику типа A при номинальном отношении сигнал/шум $\mu_0 = 10$);

- спектральная характеристика чувствительности (см. приложение); Число разрядов АЦП (*n*): = 8.

Вариант задания №2

Оптико-электронный астродатчик, входящий в состав ABC наведения радиотелескопа, осуществляет измерение угловых координат, выбранной «опорной» звезды. Определить максимальное эффективное значение звёздной величины «опорной» звезды, при которой обеспечивается заданная точность измерения.

Исходные данные

Диапазон измеряемых угловых координат (ψ , χ): $\pm 1^{\circ}$.

Среднеквадратическая погрешность измерения: 2 угл. сек.

Время измерения (*T*_и): 0,1 с.

Коэффициент пропускания оптической системы объектива: $\tau = 0,75$.

Эффективный диаметр входного зрачка объектива: 80 мм.

Параметры фотоприёмного устройства (ФПУ):

- число фоточувствительных элементов (*N*×*M*): 500×576;

- пространственный шаг фоточувствительных элементов ($d_x = d_y$): 12 мкм;
- чувствительность: 0,05 лк (при номинальном отношении сигнал/шум $\mu_0 = 10$);
- спектральная характеристика чувствительности (см. приложение); Число разрядов АЦП: *n* = 8.

Вариант задания №3

Определить необходимый эффективный диаметр входного зрачка и фокусное расстояние объектива оптико-электронного астродатчика (АД), входящего в состав автономной системы астроориентации. АД осуществляет измерение угловых координат, выбранной «опорной» звезды.

Исходные данные

Максимальное эффективное значение звёздной величины (*m*_{эфф.}): 5.

- Диапазон измеряемых угловых координат (ψ , χ): $\pm 1^{\circ}$.
- Среднеквадратическая погрешность измерения: 2 угл. сек.

Время измерения (*T*_и): 0,1 с.

Коэффициент пропускания оптической системы объектива: τ = 0,75. Параметры фотоприёмного устройства (ФПУ):

- число фоточувствительных элементов (*N*×*M*): 500×576;
- пространственный шаг фоточувствительных элементов ($d_x = d_y$): 12 мкм;
- чувствительность: 0,05 лк (при номинальном отношении сигнал/шум $\mu_0 = 10$);
- спектральная характеристика чувствительности (см. приложение);
 Число разрядов АЦП: *n* ≥ 8.

Вариант задания №4

максимальную Определить дальность, при которой автоматизированная видеоинформационная система (ABC), может осуществлять измерение угловых координат точечного источника излучения в заданном диапазоне и с заданной точностью.

Исходные данные

Источник излучения: светодиод АЛ119.

Диапазон измеряемых угловых координат (ψ , χ): $\pm 2^{\circ}$

Среднеквадратическая погрешность измерения: 2 угл. сек.

Время измерения (*T*_и): 0,1 с.

Эффективный диаметр входного зрачка объектива: 80 мм.

Коэффициент пропускания оптической системы объектива: $\tau = 0,75$

Параметры фотоприёмного устройства (ФПУ):

- число фоточувствительных элементов (*N*×*M*): 500×576;
- пространственный шаг фоточувствительных элементов (*d_x* = *d_y*): 12 мкм;
- чувствительность (*E_v*): 0,03 лк (по источнику типа *A* при номинальном отношении сигнал/шум µ₀ = 10);
- спектральная характеристика чувствительности (см. приложение);

Вариант задания №5

Определить максимальную дальность, при которой автоматизированная видеоинформационная система (ABC), может осуществлять с заданной вероятностью обнаружение точечного источника излучения при допустимом значении вероятности ложной тревоги в течение времени наблюдения 1 с.

Исходные данные

Энергетическая сила излучения источника (цели) (*I*_e): 6·10⁻² Bт/ср.

Длина волны, максима спектральной плотности излучения (λ): 0,9 мкм.

Угловые размеры поля зрения ABC (ψ , χ): $\pm 2^{\circ}$

Вероятность правильного обнаружения цели (*P*_{прав.}): 0,9.

Допустимая вероятность ложной $P_{\text{л.т.}}$ тревоги за время наблюдения ($T_{\text{H}} = 1$ с): 10^{-5} .

Время принятия решения (T_p): 0,1 с.

Эффективный диаметр входного зрачка объектива ($D_{\text{вх. 3}}$): 80 мм.

Радиус кружка рассеяния (*R*): 12 мкм.

Коэффициент пропускания оптической системы объектива (τ): 0,75 Параметры фотоприёмного устройства (ФПУ):

- число фоточувствительных элементов (*N*×*M*): 500×576;
- пространственный шаг фоточувствительных элементов (*d_x* = *d_y*): 12 мкм;
- чувствительность (E_v): 0,03 лк (при номинальном отношении сигнал/шум $\mu_0 = 10$);
- спектральная характеристика чувствительности (см. приложение);
- коэффициент использования излучения паспортного источника (χ_п):
 0,6.

Вариант задания №6

Определить габаритно-энергетические параметры оптической системы (эффективный диаметр входного зрачка и фокусное расстояние), при которых автоматизированная видеоинформационная система (ABC), может осуществлять с заданной вероятностью обнаружение точечного источника излучения при допустимом значении вероятности ложной тревоги в течение времени наблюдения 1 с.

Исходные данные

Энергетическая сила излучения источника (цели) (*I*_e): 4·10⁻² Bт/ср.

Длина волны, максима спектральной плотности излучения (λ): 0,9 мкм.

Угловые размеры поля зрения ABC (ψ , χ): $\pm 2^{\circ}$

Вероятность правильного обнаружения цели (*P*_{прав}): 0,9.

Допустимая вероятность ложной $P_{\text{п.т.}}$ тревоги время за наблюдения ($T_{\text{к}} = =1$ с): 10^{-5} .

Время принятия решения (T_p): 0,1 с.

Максимальная дальность обнаружения объектов (*S*): 200 м.

Радиус кружка рассеяния (*R*): 12 мкм.

Коэффициент пропускания оптической системы объектива (τ): 0,75 Параметры фотоприёмного устройства (ФПУ):

- число фоточувствительных элементов (*N*×*M*): 500×576;
- пространственный шаг фоточувствительных элементов (*d_x* = *d_y*): 24 мкм;
- чувствительность (E_v): 0,03 лк (при номинальном отношении сигнал/шум $\mu_0 = 10$);
- спектральная характеристика чувствительности (см. приложение);
- коэффициент использования излучения паспортного источника (χ_п):
 0,6.

Число разрядов АЦП (n): ≥ 10 .

Вариант задания №7

Определить минимальное значение энергетической силы излучения источника (цели), при которой автоматизированная видеоинформационная система (ABC), может осуществлять с заданной вероятностью обнаружение точечного источника излучения при допустимом значении вероятности ложной тревоги в течение времени наблюдения 1 с.

Исходные данные

Эффективный диаметр входного зрачка объектива ($D_{\text{вх. 3}}$): 70 мм. Длина волны, максима спектральной плотности излучения (λ): 0,9 мкм. Угловые размеры поля зрения ABC (ψ , χ): $\pm 2^{\circ}$ Вероятность правильного обнаружения цели ($P_{\text{прав.}}$): 0,9.

Допустимая вероятность ложной $P_{n.t.}$ тревоги за время наблюдения ($T_{\kappa} = =1$ с): 10^{-5} .

Время принятия решения (*T*_p): 0,1 с.

Максимальная дальность обнаружения объектов (S): 200 м.

Радиус кружка рассеяния (*R*): 12 мкм.

Коэффициент пропускания оптической системы объектива (т): 0,75

Параметры фотоприёмного устройства (ФПУ):

– число фоточувствительных элементов (*N*×*M*): 500×576;

– размер фоточувствительных элементов ($d \times d$): 24×24 мкм;

– чувствительность (E_v): 0,03 лк (при номинальном отношении сигнал/шум $\mu_0 = 10$);

– спектральная характеристика чувствительности (см. приложение);

- коэффициент использования излучения паспортного источника (χ_n): 0,6.

Число разрядов АЦП (n): ≥ 10 .

Вариант задания №8

АВС решает задачу обнаружения точечных объектов. Необходимо выполнить расчёты, с целью определения зависимости вероятности обнаружения от энергетической силы излучения объекта при допустимом значении вероятности ложной тревоги в течение времени наблюдения 1 с. Построить график полученной характеристики обнаружения.

Исходные данные

Эффективный диаметр входного зрачка объектива ($D_{\text{вх. 3}}$): 70 мм.

Длина волны, максима спектральной плотности излучения (λ): 0,9 мкм.

Угловые размеры поля зрения ABC (ψ , χ): $\pm 2^{\circ}$

Допустимая вероятность ложной $P_{\text{л.т.}}$ тревоги за контрольное время $T_{\text{к}} = 1 \text{ c: } 10^{-5}.$

Время принятия решения (*T*_p): 0,1 с.

Максимальная дальность обнаружения объектов (*S*): 200 м.

Радиус кружка рассеяния (*R*): 12 мкм.

Коэффициент пропускания оптической системы объектива (τ): 0,75 Параметры фотоприёмного устройства (ФПУ):

– число фоточувствительных элементов (*N*×*M*): 500×576;

– размер фоточувствительных элементов (*d*×*d*): 24×24 мкм;

– чувствительность (E_v): 0,03 лк (при номинальном отношении сигнал/шум $\mu_0 = 10$);

– спектральная характеристика чувствительности (см. приложение);

 – коэффициент использования излучения паспортного источника (ҳ_п): 0,6.

Число разрядов АЦП (n): ≥ 10 .

Число расчётных точек характеристики обнаружения не менее 8-ми в диапазоне значений вероятности правильного обнаружения ($P_{\text{прав.}}$) от 0,2 до 0,95.

Вариант задания №9

Построить график характеристики обнаружения точечных объектов автоматизированной видеоинформационной системой. Характеристика обнаружения представляет собой зависимость вероятности обнаружения от дальности наблюдения объекта при **допустимом значении вероятности ложной тревоги** в течение времени наблюдения 1 с.

Исходные данные

Энергетическая сила излучения источника (цели) (I_e): 9·10⁻² Вт/ср.

Эффективный диаметр входного зрачка объектива ($D_{\text{вх. 3}}$): 70 мм.

Длина волны, максима спектральной плотности излучения (λ): 0,9 мкм. Угловые размеры поля зрения ABC (ψ , χ): $\pm 2^{\circ}$

Допустимая вероятность ложной $P_{\pi.\pi}$ тревоги за контрольное время $T_{\kappa} = 1$ с: 10^{-5} .

Время принятия решения (T_p): 0,1 с.

Радиус кружка рассеяния (*R*): 12 мкм.

Коэффициент пропускания оптической системы объектива (τ): 0,75 Параметры фотоприёмного устройства (ФПУ):

– число фоточувствительных элементов (*N*×*M*): 500×576;

– размер фоточувствительных элементов (*d*×*d*): 24×24 мкм;

– чувствительность (E_v): 0,03 лк (при номинальном отношении сигнал/шум $\mu_0 = 10$);

– спектральная характеристика чувствительности (см. приложение);

- коэффициент использования излучения паспортного источника (χ_п): 0,6.

Число разрядов АЦП (n): ≥ 10 .

Число расчётных точек характеристики обнаружения не менее 8-ми в диапазоне значений вероятности правильного обнаружения ($P_{прав.}$) от 0,2 до 0,95.

Вариант задания №10

Построить график вероятности обнаружения точечной цели от эффективного диаметра входного зрачка АВС при допустимом значении вероятности ложной тревоги в течение времени наблюдения 1 с.

Исходные данные

Энергетическая сила излучения источника (цели) (*I*_e): 5·10⁻² Bт/ср.

Максимальная дальность обнаружения объектов (S): 300 м.

Длина волны, максима спектральной плотности излучения (λ): 0,9 мкм. Угловые размеры поля зрения ABC (ψ , χ): $\pm 2^{\circ}$

Допустимая вероятность ложной $P_{I,T}$ тревоги за контрольное время $T_{\rm K} = = 1c: 10^{-5}.$

Время принятия решения (T_p): 0,1 с.

Радиус кружка рассеяния (*R*): 12 мкм.

Коэффициент пропускания оптической системы объектива (τ): 0,75 Параметры фотоприёмного устройства (ФПУ):

- число фоточувствительных элементов ($N \times M$): 500×576;

- размер фоточувствительных элементов ($d \times d$): 24×24 мкм;

- чувствительность (*E_v*): 0,01 лк (при номинальном отношении сигнал/шум $\mu_0 = 10$);

спектральная характеристика чувствительности (см. приложение);

- коэффициент использования излучения паспортного источника (χ_п): 0,6.

Число разрядов АЦП (n): ≥ 10 .

Число расчётных точек характеристики обнаружения не менее 8-ми в диапазоне значений вероятности правильного обнаружения (Р_{прав.}) от 0,2 до 0,95.

Приложение к расчетам



Спектральная характеристика чувствительности ФПУ $S(\lambda)$ и спектралная плотность излучения светодиода $\Phi^*(\lambda)$ (в относительных единицах)

Заключение

Проведённый анализ возможных алгоритмов цифровой обработки изображений, а также примеры реализации некоторых виртуальных моделей различных автоматизированных видеоинформационных систем имеют, главным образом, практическую направленность. Более подробное изложение теоретических вопросов, касающихся методов описания и преобразования сигналов дискретных изображений, можно найти в других источниках (см. например, [1, 4, 10]).

Рассмотренные в данной работе примеры виртуальных моделей могут быть использованы не только в учебном процессе, но и в инженерной практике особенно на ранних стадиях проектирования, с целью оптимизации параметров решающих правил и обоснования требований к отдельным звеньям ABC.
Литература

1. Андреев А.Л. Автоматизированные видеоинформационные системы. –СП.: НИУ ИТМО, 2011. – 120 с..

2. 14. Андреев А.Л. Автоматизированные телевизионные системы наблюдения. Часть І. Аппаратные средства и элементная база. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. – СПб, 2005. – 88с

3. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. – 2-е изд., _ Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – 696 с.

4. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение)/А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. - Чернявского. – Л.: Машиностроение, 1088. – 424 с.

5. Быстрые алгоритмы цифровой обработки изображений/Т.С. Хуанг, Дж.-О. Эклунд, Г.Дж. Нуссбаумер и др.; Под ред. Т.С. Хуанга: Пер. с англ.-М.: Радио и связь, 1984. –224 с.

6. Андреев А.Л. Сравнение алгоритмов интерполяции сигнала при измерении координат объектов с помощью многоэлементного фотоприёмника. – Сборник трудов VII Международной конференция «Прикладная оптика-2006». Том 3. Компьютерные технологии в оптике СПб, 2006. с. 223 – 227.

7. Источники и приёмники излучения: Учебное пособие для студентов оптических специальностей вузов/Г.Г. Ишанин, Э.Д. Панков, А.Л. Андреев, Г.В. Польщиков. – СПб: Политехника, 1991, – 240 с.

8. Евдокимов Ю. К., Линдваль В, Р., Щербаков Г. И. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW. - ДМК Пресс, 2007, – 400 с.

9. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Сов. Радио, 1974 – 1976.

10. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: в 2 кн. М.: Мир, 1982.–790 с.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

КАФЕДРА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ И ЕЕ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ШКОЛА

Кафедра создавалась в 1937-38 годах и существовала под следующими названиями:

- с 1938 по 1958 год - кафедра военных оптических приборов;

- с 1958 по 1967 год - кафедра специальных оптических приборов;

- с 1967 по 1992 год - кафедра оптико-электронных приборов;

– с 1992 года - кафедра оптико-электронных приборов и систем.
Кафедру возглавляли:

- с 1938 по 1942 год - профессор К.Е. Солодилов;

- с 1942 по 1945 год - профессор А.Н. Захарьевский (по совместительству);

- с 1945 по 1946 год - профессор М.А. Резунов (по совместительству);

- с 1947 по 1972 год - профессор С.Т. Цуккерман;

- с 1972 по 1992 год - заслуженный деятель науки и техники РСФСР, профессор Л.Ф. Порфирьев;

- с 1992 по 2007 год - заслуженный деятель науки РФ, профессор Э.Д. Панков.

- с 2007 года по настоящее время - почетный работник высшего профессионального образования, профессор В.В. Коротаев.

История кафедры началась в 1937-38 годах с организации в Ленинградском институте точной механики и оптики (ЛИТМО) кафедры военных оптических приборов. Первым заведующим кафедрой был К.Е. Солодилов, до этого возглавлявший Центральное конструкторское бюро (ЦКБ) Всесоюзного объединения оптико-механической промышленности (ВООМП). Преподавателями кафедры стали сотрудники этого ЦКБ - М.А. Резунов, М.Я. Кругер, С.Т. Цуккерман, В.А. Егоров, Б.М. Кулежнов.

В годы Великой Отечественной войны кафедра была эвакуирована в Черепаново, где обязанности заведующего кафедрой выполнял профессор А.И. Захарьевский. Преподавателями кафедры по состоянию на 01.04.1945 г были профессор Чулановский, доцент Кругер, ст. преподаватель Гриневич, ассистенты Дедюлин и Погарев. После возвращения в Ленинград кафедрой в 1945-46 годах по совместительству заведовал начальник конструкторского бюро (КБ) Государственного оптического института им. С.И. Вавилова (ГОИ) М.А. Резунов.

В начале 1947 года кафедру возглавил профессор С.Т. Цуккерман, который руководил ею до 1972 года. В 1958 году кафедра была реорганизована в кафедру специальных оптических приборов, а в 1967 году в кафедру оптико-электронных приборов (ОЭП).

Создание С.Т. Цуккерманом в предвоенные годы книги «Точные механизмы» (М.: Оборонгиз, 1941) является значительным вкладом в развитие отечественного точного приборостроения. С.Т. Цуккерман является автором более 120 научных работ и более 50 изобретений. В предвоенные, военные и послевоенные годы С.Т. Цуккерман работал над созданием прицельных устройств для зенитной и авиационной артиллерии. Он был одним из создателей серийного авиационного гироскопического прицела АСП с автоматической выработкой поправки на упреждение, который устанавливался на истребителях МиГ, а также механического ракурсного прицела для мелкокалиберной зенитной артиллерии, широко применяемого во время войны во Вьетнаме.

В 1958 г. при кафедре была организована отраслевая лаборатория «Специальные оптические приборы» с достаточно сильной группой конструкторов-разработчиков.

С.Т. Цуккерман и старший научный сотрудник А.С. Гридин руководили разработкой приборов управления по лучу (ПУЛ), предназначенных для управления движением различных подвижных объектов по прямой линии или по программе.

В начале 60-х годов старший научный сотрудник Г.Г. Ишанин занимался разработкой фотометрической аппаратуры, предназначенной для паспортизации оптико-электронных приборов и систем различного назначения.

Значительное влияние на содержание подготовки специалистов и научных исследований оказало привлечение к работе на кафедре выдающегося специалиста в области оптико-электронного приборостроения, члена-корреспондента Российской академии наук (РАН), Героя Социалистического Труда, лауреата Ленинской премии профессора

74

М.М. Мирошникова, который, работая на кафедре ОЭП с 1969 года по 1976 год в должности профессора по совместительству, поставил и читал курс «Теория оптико-электронных приборов».

С 1972 года по 1992 год кафедрой ОЭП заведовал заслуженный деятель науки и техники РСФСР, профессор Л.Ф. Порфирьев, известный специалист в области автоматических ОЭПиС в комплексах навигации и управления авиационной и космической техникой. Соответственно тематика выполнения научно-исследовательских работ на кафедре приобрела новые направления, существенно увеличилось число тем, носящих поисковый фундаментальный характер. Были разработаны новый учебный план и программы учебных дисциплин.

Л.Ф. Порфирьев является автором 19 учебников, учебных пособий и монографий, среди которых можно выделить такие как «Теория оптико-электронных приборов и систем» (Л.: Машиностроение, 1980), «Основы теории преобразования сигналов в оптико-электронных системах» (Л.: Машиностроение, 1989). Результаты его работ можно оценить как значительный вклад в разработку общей теории оптико-электронных систем.

Л.Ф. Порфирьев как руководитель проводил достаточно жесткую кадровую политику, при которой на кафедре оставались работать только те сотрудники, которые отличались преданностью делу. При этом он оказывал всемерную поддержку сотрудникам кафедры по разработке ими различных направлений теории и практики оптико-электронного приборостроения. По результатам научно-исследовательских работ в этот период защитили диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Г.Н. Грязин (1983 г.), Е.Г. Лебедько (1985 г.), Э.Д. Панков (1986 г.), Г.Г. Ишанин (1988 г.), защищено много диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В этот период под руководством Э.Д. Панкова начали проводиться исследования по разработке новых оптико-электронных систем измерения взаимного положения разнесенных в пространстве объектов.

Г.Н. Грязин, перешедший на кафедру с радиотехнического факультета в конце 60-х годов, продолжил свои работы в области прикладного телевидения, в частности, по разработке систем наблюдения за быстродвижущимися объектами и быстропротекающими процессами.

С 1975 года заведующим отраслевой лабораторией стал старший научный сотрудник А.Н. Тимофеев, который продолжил исследования по разработке методов и средств контроля пространственного положения объектов с помощью ОЭП с оптической равносигнальной зоной для машиностроения, энергетики, строительства, судостроения и железнодорожного транспорта.

С 1975 года, после увольнения в запас, из Ленинградской военной инженерной краснознаменной академии (ЛВИКА) им. А.Ф. Можайского на

кафедру пришел работать в должности профессора С.П. Авдеев, известный специалист в области ОЭПиС космических аппаратов. Он поставил курсы и читал лекции по учебным дисциплинам «Оптико-электронные приборы», «Оптико-электронные приборы систем управления», «Оптико-электронные приборы для научных исследований».

Существенное влияние на содержание подготовки специалистов и научных исследований оказало привлечение к работе на кафедре лауреата Ленинской и Государственной премий профессора Б.А. Ермакова, известного специалиста в области физической оптики и оптико-электронного приборостроения. Б.А. Ермаков работал на кафедре ОЭП с 1979 года по 1992 год в должности профессора по совместительству и поставил курс «Оптико-электронные приборы с лазерами».

В 70-80 годах под руководством доцента Е.Г. Лебедько проводились исследования законов отражения лазерного излучения от нестационарных поверхностей и протяженных объектов, исследования в области теории идентификации объектов по их излучению в сложной фоновой ситуации. Создан комплекс для лазерной локации крупногабаритных морских объектов сложной конфигурации и водной поверхности. В этих работах принимали участие доценты О.П. Тимофеев и С.Б. Лукин.

В 70-90 годах под руководством Л.Ф. Порфирьева был разработан ряд астродатчиков, систем астроориентации и космической навигации (В.И. Калинчук, А.Л. Андреев, С.Н. Ярышев).

С 1992 г. заведующим кафедрой является заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор Э.Д. Панков. В 1992 году кафедра была переименована в кафедру оптико-электронных приборов и систем (ОЭПиС).

Под руководством Э.Д. Панкова в 70-90-х годах были проведены разработки ряда оптико-электронных приборов и систем специального и гражданского применения, нашедших практическое внедрение и способствующих научно-техническому прогрессу и укреплению обороноспособности нашей страны.

В частности, исследования и разработки в области линейных и угловых измерений позволили приступить к решению общей проблемы согласования отсчетных баз на нестационарно деформируемых объектах с помощью оптико-электронных систем.

В рамках указанной проблемы доцентом И.А. Коняхиным проводились исследования, результаты которых можно классифицировать как разработку теории построения автоколлимационных систем с компонентами нарушенной типовой конфигурации.

В то же время доцентом В.В. Коротаевым разработан ряд поляризационных приборов и измерительных установок. Теоретическим результатом работ явилась разработка методологии анализа поляризационных свойств оптических систем с изменяющейся ориентацией элементов. По результатам указанных работ В.В. Коротаев (в 1997 г.) и И.А. Коняхин (в 1998г.) защитили диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук.

Применение многоэлементных приемников в системах пеленгации дало толчок развитию телевизионных систем технического зрения, измерительных телевизионных систем и систем обработки изображений. Результаты этих исследований были использованы доцентом А.Л. Андреевым при постановке учебных курсов «Оптико-электронные системы с ЭВМ», «Специализированные аппаратные и программные средства ОЭП», «Автоматизированные телевизионные вычислительные комплексы», а также доцентом С.Н. Ярышевым при постановке им в 1993 году учебной дисциплины «Видеотехника».

Указанные курсы обеспечиваются лабораторным практикумом на мест, оснащенных персональными базе рабочих компьютерами, объединенными в локальную сеть. Рабочие места оснащены аппаратными и средствами цифровой видеозаписи обработки программными И изображений. В этот период Г.Н. Грязиным были подготовлены дисциплинам: «Телевизионные системы», «Прикладное телевидение и телевизионно-вычислительные комплексы» (совместно с А.Л. Андреевым).

На основе обобщения методик расчета оптико-электронных систем различного назначения и принципа действия в 1981 году были развернуты работы по созданию элементов систем автоматизированного проектирования ОЭП. За период с 1981 по 1987 год под руководством И.А. Коняхина были разработаны оригинальные пакеты прикладных программ расчета параметров систем измерения пространственного положения объектов.

Развитие компьютерной техники и программного обеспечения общего назначения позволило создать проблемно-ориентированное программное обеспечение поддержки проектирования ОЭП на системотехническом уровне.

По результатам научных работ сотрудниками кафедры ОЭПиС выпущено в свет 15 монографий, 11 учебников и учебных пособий. На кафедре подготовлено 14 докторов наук, а также более 110 кандидатов наук.

На разработки кафедры получены авторские свидетельства СССР и патенты Российской Федерации на более чем 200 изобретений. Наибольший вклад в изобретательскую деятельность внес Э.Д. Панков - автор 123 изобретений, из которых 33 внедрены в промышленности.

При заявлении научно-педагогической школы «Оптико-электронное приборостроение» в 2009 году были сформулированы следующие основные научно-технические результаты, достигнутые в период с 1938 по 2009 годы:

– разработаны принципы построения военных оптико-механических приборов;

– разработаны принципы построения точных механизмов;

– разработаны принципы построения оптико-электронных приборов с оптической равносигнальной зоной;

– систематизированы теоретические основы и принципы построения оптико-электронных приборов;

– разработаны методы описания импульсных сигналов, идентификации и классификации объектов в системах нестационарной лазерной локации;

– разработаны теория, принципы построения и методы расчета импульсных телевизионных систем наблюдения быстродвижущихся объектов;

– обнаружен термоупругий эффект в кристаллическом кварце и создан новый тип приемников оптического излучения;

– разработана теория построения автоколлимационных систем с компонентами нарушенной типовой конфигурации;

– разработана методология анализа поляризационных свойств оптических систем с изменяющейся ориентацией элементов;

– систематизированы теоретические основы и принципы построения измерительных систем на основе матричных фотопреобразователей;

– разработаны основы построения ОЭС согласования отсчетных баз на нестационарно деформируемых объектах.

Основоположники научной школы:

- Солодилов Константин Евгеньевич, заведующий кафедрой с 1938 г. по 1942 г., профессор;
- Цуккерман Семен Тобиасович, заведующий кафедрой с 1947 г. по 1972 г., профессор;
- Мирошников Михаил Михайлович, директор ГОИ, д.т.н., профессор, профессор кафедры ОЭП с 1967 г. по 1978 г.; член-корреспондент Российской Академии наук, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской премии.
- Порфирьев Леонид Федорович, заведующий кафедрой с 1972 г. по 1992 г., д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР.
- С 2007 г. заведующим кафедрой является почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, профессор В.В. Коротаев.

На кафедре была открыта подготовка по новой специализации инженеров «Оптико-электронные приборы и системы обработки видеоинформации» и новая магистерская программа «Оптико-электронные методы и средства обработки видеоинформации».

В 2007 году был создан научно-образовательный центр оптико-электронного приборостроения (НОЦ ОЭП).

Научно-образовательный центр оптико-электронного приборостроения научно-исследовательские выполняет И опытно-конструкторские работы по созданию видеоинформационных и информационно-измерительных приборов различного назначения, высокоточных приборов для измерения линейных, угловых и других физических величин в промышленности, энергетике, на транспорте, а также систем технического зрения и обработки видеоинформации. К выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ широко привлекаются студенты, аспиранты, молодые специалисты, молодые кандидаты наук. Научно-образовательный центр является активным Федеральной участником целевой программы «Научные И научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Направления научных исследований кафедры ОЭПиС в 2007-2012 годах

Развитие теоретических основ и принципов построения оптико-электронных приборов и систем, в том числе:

- видеоинформационных измерительных систем;
- видеоинформационных систем наблюдения;
- видеоинформационных импульсных систем наблюдения быстродвижущихся объектов;
- комплексированных телевизионно-тепловизионных систем наблюдения,
- ОЭПиС обеспечения техносферной безопасности;
- ОЭПиС согласования отсчетных баз на нестационарно деформируемых объектах;
- автоколлимационных систем с компонентами нарушенной типовой конфигурации;
- ОЭПиС цветового и спектрального анализа объектов;
- фотометрических систем аттестации ОЭПиС, источников и приемников оптического излучения;
- систем лазерной локации с нестационарным облучением;
- ОЭС сепарации полезных ископаемых.

По результатам исследований в этот период на кафедре были защищены 14 диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Идет активное пополнение преподавательского состава молодыми кандидатами наук. В настоящее время на кафедре работает 7 кандидатов наук в возрасте до 35 лет.

Мы занимаемся разработкой оптико-электронных приборов и систем в целом:

- системотехническое проектирование,

– разработка (выбор) оптической системы,

– разработка конструкции,

- разработка (выбор) электроники и средств обработки информации,

- разработка программного обеспечения,

- сборка, юстировка, настройка и испытания.

Мы учим тому, что сами умеем делать!

По итогам конкурсов ведущих научно-педагогических коллективов СПб НИУ ИТМО 2007-2011 годов кафедра занимала призовые места.

С 2011 года подготовка бакалавров, магистров и специалистов на кафедре ОЭПиС осуществляется по Федеральным государственным образовательным стандартам третьего поколения (ФГОС).

Подготовка бакалавров по направлению:

200400 «Оптотехника» (профиль - Оптико-электронные приборы и системы). Срок обучения - 4 года

Подготовка магистров по направлению:

200400 Оптотехника.

Магистерские программы:

– Оптико-электронные методы и средства обработки видеоинформации

– Оптико-электронные приборы и системы безопасности

Срок обучения – 2 года.

Подготовка инженеров по специальности:

200401 -Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения.

Специализация:

– Оптико-электронные информационно-измерительные приборы и системы. Срок обучения – 5,5 лет.

Подробная информация о кафедре ОЭПиС имеется на сайте кафедры: http://oeps.ifmo.ru/

А.Л. Андреев

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОБЪЕКТАМИ

Методические указания по выполнению лабораторных работ и домашних заданий

В авторской редакции	А.Л. Андреев
Редакционно-издательский отдел НИУ ИТМО	
Зав. РИО	Н.Ф. Гусарова
Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99	
Подписано к печати	
Заказ №	
Тираж	100 экз.
Отпечатано на ризографе	

Редакционно-издательский отдел

Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49 иниерситет Колоничиние Канкт-петербург